

# **MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS MECANISMOS CEREBRALES DEL MOVIMIENTO**



**Diana Kareli Castellanos Zapata**

**Jairo Alonso López Muñoz**

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero de Sistemas

**UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

# **MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS MECANISMOS CEREBRALES DEL MOVIMIENTO**



**DIANA KARELI CASTELLANOS ZAPATA**

**Matricula: 066051036**

**JAIRO ALONSO LÓPEZ MUÑOZ**

**Matricula: 066061550**

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero de Sistemas

**Eduardo Triana M.**

**Director**

**UNIVERSIDAD LIBRE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Nota de aceptación:**

--	--

**Número**

**Letras**

---

**Ing. Eduardo Triana**

---

**Jurado calificador**

---

**Jurado calificador**

### **Dedicatorias**

Dedico este trabajo, a mi madre y padre, quienes me enseñaron desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas. Mi triunfo es el de ustedes, ¡los amo!

A Dios por darme la sabiduría y el entendimiento para salir adelante.

A mis hermanos, que siempre estuvieron ahí apoyándome en todo momento.

A mi hermano Ihgor, porque siempre estuvo ahí brindándome su apoyo incondicional

A los que nunca dudaron que lograría este triunfo: Ing. Eduardo Triana, y demás Ing. Que me apoyaron a lo largo de mi carrera.

A todos muchísimas gracias!

Diana Kareli Castellanos Zapata

## **Dedicatorias**

Dedico este trabajo a mi padre y familia ya ellos son el motor que mueven mi mundo y sin ellos no hubiera sido posible estar donde actualmente estoy.

Jairo Alonso López Muñoz

## **Agradecimientos**

“Agradezco a Dios por hacer esto posible, por darme la fortaleza de seguir adelante día a día.

A mi padre, José de Jesús Castellanos que desde donde este se que me apoyo en todo momento.

A mi madre, Iris Mereyda Zapata por su amor, comprensión, apoyo y paciencia.

A mi hermano, Ihgor Fajardo por su apoyo incondicional y a mis demás hermanos por sus ánimos.

A mis amigos y demás, por estar ahí apoyándome.”

A los Ingenieros, Álvaro Rojas, Pedro Forero y en especial a Eduardo Triana, por todo lo que hicieron por mí”.

Diana Kareli Castellanos Zapata

## **Agradecimientos**

“Agradezco en primera medida a mi padre quien siempre me ha ayudado y apoyado en toda circunstancia para mi estudio y trabajo.

Agradezco también a mis profesores, guías y orientadores que estuvieron la lo largo de mi proceso académico

Agradezco en Especial al Secretario Académico Ing. Juan Fernando Velásquez; el director del programa, Ingeniero Álvaro Rojas Daza; mi director de proyecto de grado, Ing, Eduardo Triana por toda la colaboración ofrecida por ellos

En especial agradezco a Dios por hacer esto posible y porque la vida que llevo no puede ser mejor de lo que me ha tocado.”

Jairo Alonso López Muñoz

## TABLA DE CONTENIDO

I. RESUMEN.....	14
INTRODUCCION .....	15
CAPÍTULO 1 .....	16
1. MARCO REFERENCIAL DE DESARROLLO .....	16
1.1. TÍTULO DEL PROYECTO .....	16
1.2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	16
1.4. RESULTADOS ESPERADOS.....	17
1.5. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	17
2. ESCENARIO TEÓRICO OPERACIONAL .....	18
2.1. FUNDAMENTACIÓN MATEMÁTICA .....	18
2.1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.....	18
2.1.2. ANÁLISIS DE SEÑALES.....	21
2.1.3. FUNDAMENTOS DE LA ELECTRÓNICA DIGITAL.....	24
2.1.4. CONTROL DE TRANSMISIÓN .....	33
2.2. FUNDAMENTACIÓN ANATÓMICA .....	38
2.2.1. ESTRUCTURA DEL CEREBRO .....	38
2.2.2. EL CEREBELO .....	40
2.2.3. LA MEDULA ESPINAL.....	42
2.2.4. COMPONENTES FORMALES COMPLEMENTARIOS .....	43
2.3. SISTEMA SENSORIAL .....	44
2.3.1. SENTIDO DEL OLFATO .....	48
2.3.2. SENTIDO DEL GUSTO.....	48
2.3.3. SENTIDO DEL TACTO .....	49
2.3.4. SISTEMA AUDITIVO.....	49
2.3.5. SISTEMA DE LA VISTA.....	51
2.3.6. TEORÍA DE LA LUZ.....	52
2.3.6.1. TEORÍA ONDULATORIA.....	53
2.3.6.2. TEORÍA DE COLORES .....	56



Capítulo 3.....	59
3. INGENIERIA DEL PROYECTO .....	59
3.1. PROCESO DE SEÑALES.....	59
3.1.1. EL CIRCUITO OSCILADOR. ....	59
3.1.2. SEÑALES QUIMICAS .....	62
3.1.3. SEÑALES ELECTRONICAS.....	67
3.2. CONTROL DEL MOVIMIENTO.....	73
3.2.1. MECANISMOS HOMEOSTÁTICOS .....	73
3.2.2. SISTEMA DE CONTROL DEL ORGANISMO.....	78
3.2.3. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	81
3.2.4. POTENCIAL DE MEMBRANA Y POTENCIAL DE ACCIÓN.....	82
3.3. CONTROL FUNCIONAL DEL MOVIMIENTO .....	87
3.3.1. ANATOMIA FISIOLÓGICA DEL MUSCULO.....	88
3.3.2. FLUJO DE CORRIENTE: CICLO CARDIACO .....	94
3.3.3. FUNCIÓN MOTORA DE LOS GANGLIOS BASALES .....	96
3.3.4. RECEPTORES SENSITIVOS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION .....	98
3.3.4.1. ASPI.....	100
3.3.4.2. CANAL DMA .....	101
3.3.4.3. MOTOR DE PASO.....	103
IV. CONCLUSIONES .....	109
IV. FUTUROS DESARROLLOS.....	110
V. BIBLIOGRAFÍA.....	112
LISTA DE ANEXOS .....	115
ANEXO 1: Ejecución Simultánea del Control del Reloj y Mapeo del Color .....	115
ANEXO 4: Rutinas Para Ejemplificación De Operación Paralela O Ejecucion Por Referencia Y Retorno.....	115

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del sistema de comunicaciones .....	19
Figura 2: Comportamiento estructural de la señal .....	20
Figura 3: Formas de simetría .....	20
Figura 4: Proceso y envío de señal.....	21
Figura 5: Proceso de entrada Múltiple .....	23
Figura 6: Estructura del oscilador .....	24
Figura 7: bloques electrónicos básicos .....	27
Figura 8: compuertas combinacionales .....	28
Figura 9: Ejemplificación del proceso de comportamiento intracelular .....	29
Figura 10: ejemplificación del comportamiento metabólico en el cerebro .....	30
Figura 11: flip-flops data y JK.....	30
Figura 12: estructura del multivibrador.....	31
Figura 13: circuito conversor multivibrador .....	32
Figura 14: circuito elemental de almacenamiento.....	32
Figura 15: Implementación Del Shift Register.....	33
Figura 16: Operación Con Lógica De Tres Estados (THREE STATE LOGIC) .....	33
Figura 17: Variación del potencial durante el impulso nervioso .....	34
Figura 18: Proceso de Conversión de Señal en el Ojo .....	35
Figura 19: Sistema Inestable. Silla De Montar .....	36
Figura 20: Sistema Estable .....	36
Figura 21: proceso iónico. Distribución y movimiento .....	37
Figura 22: control de intensidad en el circuito.....	37
Figura 23: Analogía umbral de excitación .....	38
Figura 24: Estructura funcional del cerebro .....	40
Figura 25: conformación funcional del cerebelo .....	41
Figura 26: estructura de la medula espinal .....	43
Figura 27: Estructura del display.....	45
Figura 28: circuito de control de segmento A.....	47
Figura 29: estructura LM741 .....	48
Figura 30: Amplificador operacional LM555.....	50
Figura 31: Sistema auditivo.....	51
Figura 32: fases de desarrollo del ojo .....	51
Figura 33: Difracción de la luz.....	54
Figura 34: Dirección de propagación .....	54
Figura 35: Vibración de Onda .....	55
Figura 36: Distribución de colores.....	56
Figura 37: funcionalidad del flip-flop JK .....	60
Figura 38: estructura 8284/8254 .....	61
Figura 39: anatomía fisiológica de la sinapsis .....	63
Figura 40: Sistema de segundos mensajeros .....	64
Figura 41: homologación proceso de activación .....	65

Figura 42: estado bipolar de la neurona .....	67
Figura 43: sumatoria rítmica y arrítmica.....	68
Figura 44: Circuito homologador E-I .....	72
Figura 45: Ejemplificación pre-postsináptica.....	72
Figura 46: mecanismo homeostático: agentes.....	74
Figura 47: ejemplificación homeostática de interfaces.....	76
Figura 48: estructura PCM.....	77
Figura 49: detector de picos.....	78
Figura 50: analogía operacional presión arterial centro vasomotor .....	80
Figura 51: circuito atenuador analogía del sistema vasomotor .....	81
Figura 52: integración bomba k-Na y potencial de acción .....	83
Figura 53: funcionalidad integral de contracción.....	89
Figura 54: relación carga tensión.....	90
Figura 55: función de impulso .....	91
Figura 56: función de contracción .....	92
Figura 57: oscilador con ancho de pulso variable .....	94
Figura 58: modelo geométrico de flujo de corriente .....	95
Figura 59: vector medio instantáneo.....	95
Figura 60: circuito control cerebral.....	97
Figura 61: circuito polarizador detector de pico .....	97
Figura 62: Potencial de recepción y excitación .....	99
Figura 63: ciclo operacional EPP .....	100
Figura 64: ciclo total del motor de paso .....	104
Figura 65: prototipo operacional de control.....	106

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: operaciones del conversor .....	45
Tabla 2: Tabla de operación lógica .....	46
Tabla 3: Resultados en hertz y voltios .....	70

## LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1: Ejecución Simultánea del Control del Reloj y Mapeo del Color .....	1.4
1.1 Clase Java Botones .....	1.4
1.2 Clase Java Reloj Principal .....	1.6
1.3 Clase Java PanelReloj.....	1.6
ANEXO 2: Control De Sonido Y Display: Generación De Señales Y Operación De Control .....	2.4
2.1 Rutina para captura de código electrónico (SCAN CODE) .....	2.4
2.2 Rutina En Lenguaje Assembly Para Ejecutarse Con El Depurador .....	2.4
2.3 Rutina Para Implementación De Control Por Digitación De Teclas .....	2.4
2.4 Rutina Para Intercambio De Puertos .....	2.6
2.5 Rutina Generadora De Sonido.....	2.6
2.6 Rutina De Inicializacion Pic.....	2.8
2.7 Rutina De Enlace Al Oscilador.....	2.9
ANEXO 3: Set De Implementación De Control Y Funcionalidad Hardware .....	3.5
3.1 Estructura Pio 8255 .....	3.5
3.2 Captura Del Vector De Configuración .....	3.5
3.3 Valoración DMA .....	3.7
3.4 conmutador pulsador .....	3.8
3.5 Instalacion De Controladores Y Captura De Parametros Hardware .....	3.9
ANEXO 4: Rutinas Para Ejemplificación De Operación Paralela O Ejecucion Por Referencia Y Retorno .....	4.5
4.1 Decodificador Como Implementador.....	4.5
4.2 Generador Y Detector De Paridad .....	4.5
4.3 Control Paralelo Operacional .....	4.6
4.6 Lectura DelCodigo De Ejecucion .....	4.7

## I. RESUMEN

Con el conocimiento de las áreas especializadas del cerebro, y de la estructura funcional sobre la cual se determina el intercambio sináptico, por la presencia de señales eléctricas o químicas, determina un interesante campo de aplicación para desarrollos pertinentes a la ingeniería bioinformática.

El programa de Ingeniería de sistemas de la Universidad Libre, luego de conocer la estructura anatómica del cerebro y de manipular instrumentalmente el intercambio de señales, toda vez que en el cerebro la transmisión es simplemente un desplazamiento de cargas electrónicas en donde el impulso nervioso como onda electronegativa, produce un cambio transitorio de la permeabilidad en la membrana celular; el poder interpretar el proceso de activación de moléculas, la hidrolización del GPM cíclico para comprender mediante simulación la alteración de la membrana y su posterior representación mediante circuitos, permitió valorar electrónicamente mediante analogías los voltajes, los procesos de comunicación y la función motora, base para generación del movimiento.

Este trabajo, proporciona a la comunidad académica interesada una visión descriptiva de la analogía operacional entre las áreas especializadas del cerebro y el hardware especializado, validándose los procesos de integración y repolarización que al interior del cerebro se definen, formulando también los conceptos pertinentes a los fenómenos ondulatorios que conllevan a la interpretación de las frecuencias asociadas con los colores y su mapeo físico como ondas mediante la aplicación del análisis de Fourier.

### **Palabras claves:**

Amplificador, cerebro, córtex motor, neurona, regulador, señal y sinapsis.

## INTRODUCCION

La interpretación del funcionamiento de las áreas especializadas del cerebro y su funcionamiento operacional para el intercambio de información, permitió el instrumentar mediante ejemplificación por analogía directa el análisis del comportamiento metabólico del cerebro, la conversión de señales y la distribución de los procesos iónicos que se producen durante la generación de una sinapsis.

Modelar estructuralmente el mecanismo cerebral implica en primera instancia el conocer la anatomía y fisiología del cerebro, valorar la distribución de cargas eléctricas durante la transmisión de señales y diferenciar la estructura de la sustancia gris y blanca de la medula espinal, para así entonces interpretar cómo una sinapsis química involucra las vesículas transmisoras, los activadores de enzimas, la hendidura sináptica, los canales iónicos, los canales de calcio y los activadores de los segundos mensajeros, para entonces mediante su equivalencia electrónica asociarlo con el funcionamiento de un temporizador previo estudio formal de los componentes de la señalización y su comportamiento como frecuencias armónicas.

En el primer capítulo se describen los conceptos básicos del enfoque teórico operacional, luego se trata lo pertinente a la estructura del cerebro, los controles de transmisión y la homologación anatómica digital y finalmente en el capítulo tres se presenta el desarrollo ingenieril, como base para interpretar el proceso de señales que activan el movimiento y dimensionar los procesos integrales de contracción junto con el estudio de la función motora de los ganglios basales, tratamiento que mediante rutinas alusivas se ejemplifica luego de referenciar con circuitos especializados la teoría normativa pertinente al movimiento

## **CAPÍTULO 1**

### **1. MARCO REFERENCIAL DE DESARROLLO**

#### **1.1. TÍTULO DEL PROYECTO**

Modelamiento Estructural de los mecanismos cerebrales del movimiento

#### **1.2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

##### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Construir el escenario teórico referencial, que mediante el análisis de las señales y los ritmos eléctricos cerebrales, determine la base de acción para el diseño y construcción de instrumentos y prótesis especializadas para corregir problemas físicos en el ser humano.

##### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Interpretar el funcionamiento de las áreas especializadas del cerebro para modelar operacionalmente el intercambio de información.
- Conocer los efectos histoquímicos y eléctricos que producen o activan los mecanismos cerebrales del movimiento.
- Aplicar la transformada inversa y la transformada de Fourier como soporte matemático para identificar las señales producidas y analizar su comportamiento y efecto.

#### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La ingeniería de sistemas, debe proporcionar como disciplina interdisciplinaria los elementos conceptuales y lógicos que permiten a la bioinformática aprovechar los desarrollos electrónicos para construir soluciones de impacto clínico, esto es, con ayuda de la informática y la inteligencia artificial, se puede modelar estructuralmente el cerebro para identificar su complejo nivel de funcionalidad y para categorizar el espacio de soluciones en donde se refleja el sincronismo compacto de los mecanismos que activan el movimiento.



#### **1.4.RESULTADOS ESPERADOS.**

Con este trabajo, los realizadores determinan como entregable formal y como categorizador de los objetivos trazados, un documento que permita al lector validar y referenciar los componentes siguientes:

- Conocimiento de la fisiología y anatomía especializada del cerebro
- Esquemas electrónicos análogos para interpretar la funcionalidad durante el proceso de intercambio de información en la sinapsis.
- Esquema descriptivo asociativo por tratamiento matemático de los procesos realizados, junto con la formalización asociativa de sus tratamientos computacionales.

#### **1.5.METODOLOGÍA EMPLEADA.**

Por la naturaleza del proyecto, se precisa establecer como referente metodológico un escenario de acopio, interpretación, clasificación y validación de la información, para luego diseñar y producir los esquemas digitales que análogamente evidencian el comportamiento referenciado o estudiado. Las fases asociadas con el desarrollo son:

- Fase 1: Consecución de la información anatómica y fisiológica base del estudio
- Fase 2: clasificación de la teoría y de los elementos conceptuales que como base de funcionamiento electrónico, permiten construir las analogías operacionales.
- Fase 3: Valoración y modelación estructural de los principios funcionales para su posterior representación mediante un circuito
- Fase 4: elaboración del documento resultante o entregable, junto con su proceso de afinamiento y corrección de estilo.
- Fase 5: Socialización para verificación de integridad y pertinencia.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. ESCENARIO TEÓRICO OPERACIONAL**

#### **2.1. FUNDAMENTACIÓN MATEMÁTICA**

Para poder entender e interpretar el funcionamiento de las áreas especializadas del cerebro y modelar la generación de los ritmos eléctricos junto con la acción de los neurotransmisores es importante establecer como escenario de referencia la estructura de un sistema elemental de comunicaciones, el análisis de señales, el proceso de oscilación y el manejo interpretativo de los iones durante el proceso sináptico, temático que se expone a continuación.

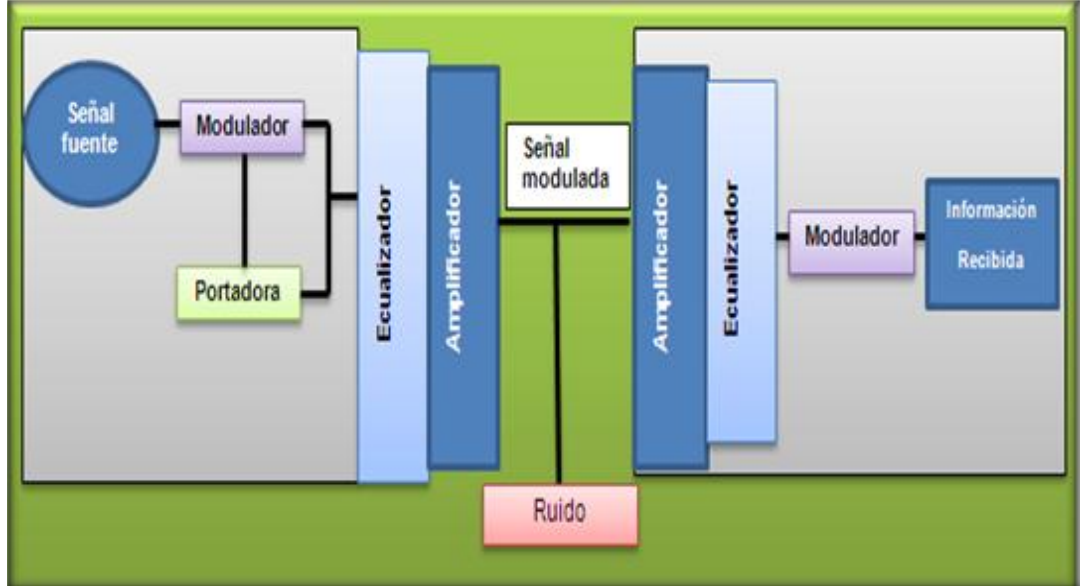
##### **2.1.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN**

Computacionalmente un sistema de comunicación se define como la entidad que acepta como entrada una señal, la modula y enruta por un medio para entregarla a un receptor.

Estructuralmente todo sistema de comunicaciones está controlado por los elementos que se despliegan en la figura 1, y que básicamente controlan la unión fuente-medio-emisor; independientemente de la forma de la señal, es decir si es análoga o digital la estructuración del sistema es la misma y básicamente, se puede identificar el segmento que matemáticamente cualifica el proceso de transmisión y recepción, en el cual las señales que operan sobre el sistema de comunicaciones se cualifica de manera sinusoidal y cosenosoidal, allí, se puede observar como la señal modulada es la transportadora del valor informático que se trasmite o se recepciona. Las funciones cumplidas por el ecualizador y el amplificador son electrónicamente definidas con el fin de activar la operación pertinente al modulador, de igual manera, se hace preciso recordar los fundamentos trigonométricos que relacionan al seno con el coseno, a saber: [1]

$$V(t) = v\text{sen}(2\pi ft + \theta) = v\cos(2\pi ft + \theta - 90^\circ)$$

**Figura 1:** Estructura del sistema de comunicaciones



**Fuente:** Tomasi Wayne. Comunicaciones electrónicas

Funcionalmente su comportamiento matemático se expresa así:

$\theta$  = fase

V = onda de voltaje

I = onda de corriente

F = frecuencia

A = voltaje pico

i = corriente en amperios

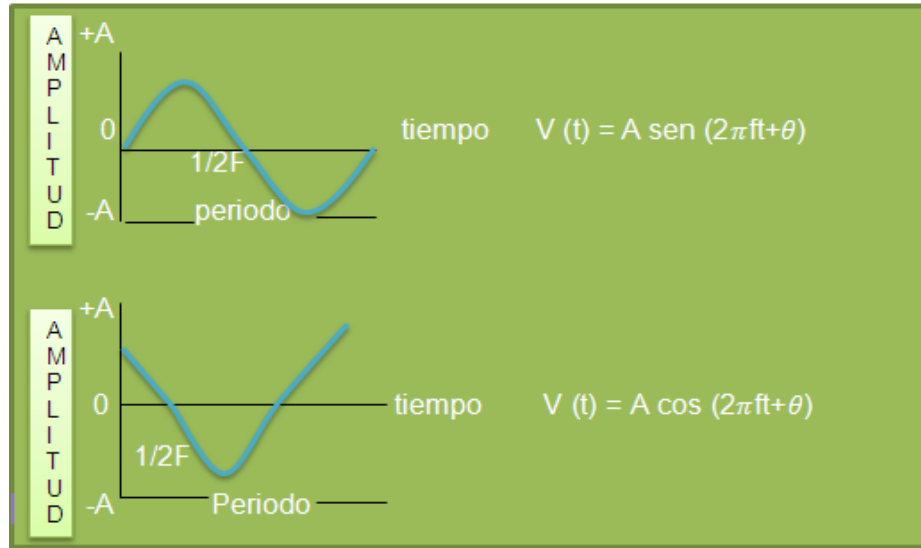
Su estructuración a nivel de significancia electrónica se expresa como:

$$V(t) = A \sin(2\pi f t + \theta) \quad V(t) = A \cos(2\pi f t + 90 - \theta)$$

$$i(t) = i \sin(2\pi f t + \theta) \quad i(t) = i \cos(2\pi f t + 90 - \theta)$$

En la figura 2, se presenta el contexto operacional anteriormente referenciado, y para esquematizar su comportamiento simétrico se precisa observar la figura 3.

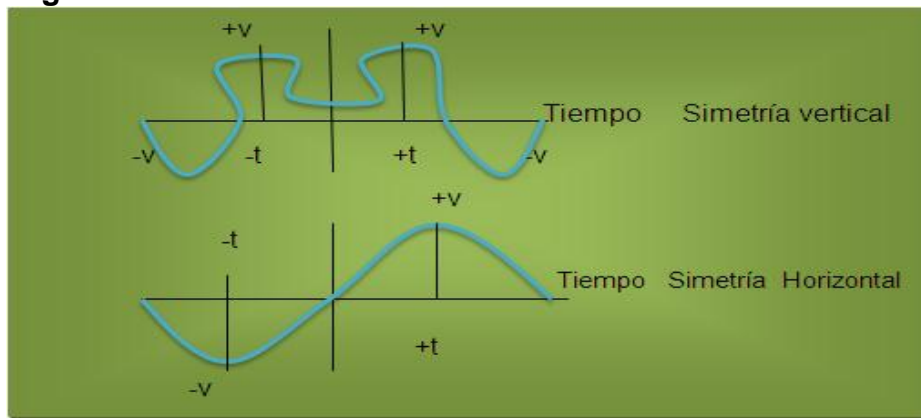
**Figura 2:** Comportamiento estructural de la señal



**Fuente:** Aporte realizadores

Las formas de simetría señaladas, denotan el desplazamiento horizontal y vertical de la señal para relacionar los parámetros de voltaje periodo y tiempo.

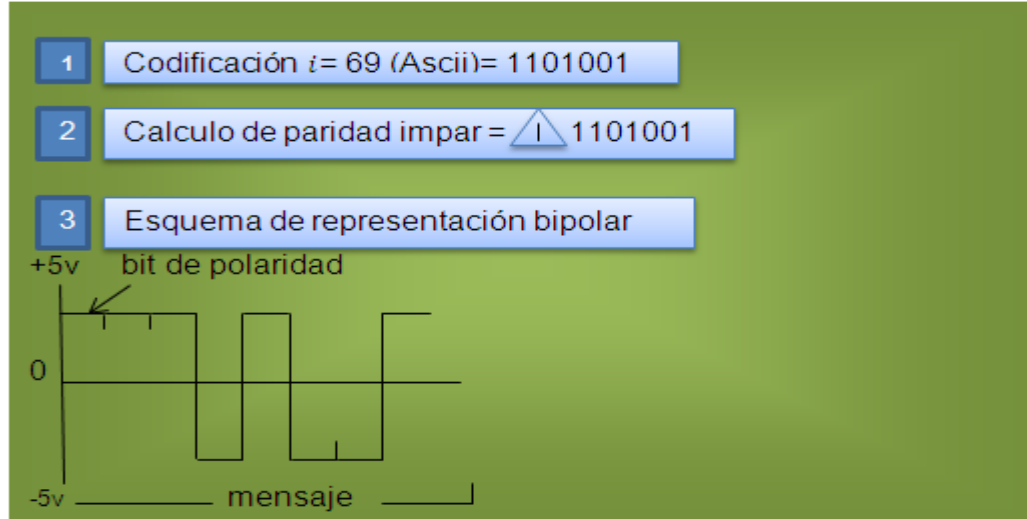
**Figura 3:** Formas de simetría



**Fuente:** Aporte realizadores

El sistema de comunicación procesa una señal o codifica a la cual le adjunta una paridad con el fin de mantener su integridad durante su tránsito por el medio de transporte para su entrega al receptor, echo que se observa en la figura 4, en donde se especifica con representación bipolar NRZ (no retorno a cero), la letra *i*, la cual tiene una representación ASCII igual a 69 (Hexadecimal). [2]

**Figura 4:** Proceso y envío de señal.



**Fuente:** Aporte realizadores

### 2.1.2. ANÁLISIS DE SEÑALES

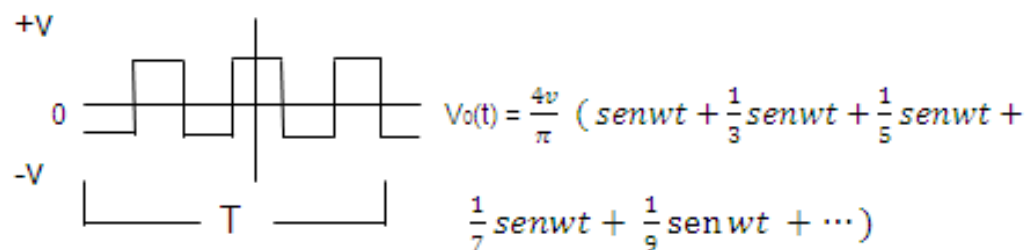
Los procesos de transmisión de información involucran el análisis del comportamiento de sus armónicas, pues toda señal se expresa como:  $f(t) = cd + fundamental + 2\ armonica + 3\ armonica + 4\ armonica + n\ armonica$  y que para su análisis funcional se precisa utilizar la denominada serie de Fourier, que toma una señal y la mapea así:

$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(2\pi n f \circ t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(2\pi n f \circ t)$ , y que para los cálculos respectivos de los coeficientes se tiene: [1]

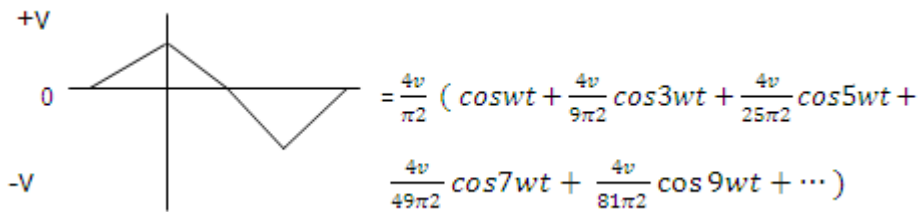
$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt ; \quad A_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos n \omega t dt ; \quad B_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin n \omega t dt$$

El mapeo o transformación de la señal análoga en digital, se cualifica así:

#### ➤ Onda Cuadrada



### ➤ Onda Triangular



Toda señal en el entorno electrónico homologa de forma análoga el proceso operacional de los ritmos eléctricos generados por el cerebro, quiere esto decir que si por ejemplo una basura choca contra nuestro ojo o nos golpeamos accidentalmente un codo la entrada a mapear será de carácter simple, pero si una persona va caminando por la calle, le cae basura en su ojo y al mismo tiempo se cae, la entrada a recepcionar por el cerebro es múltiple, es decir se presenta un proceso oscilatorio que se traduce en el cambio repetitivo de la respuesta ante el efecto generado por el agente externo en el ojo y la caída.

Para una entrada simple el comportamiento de la señal de entrada y de la respuesta obtenida se expresa matemáticamente de la forma siguiente:

$$V_i = V_A \sin 2\pi f_0 t ; \quad v_0 = A v_a \sin 2\pi f_0 t$$

En donde:

$V_i = \text{voltaje de entrada}$

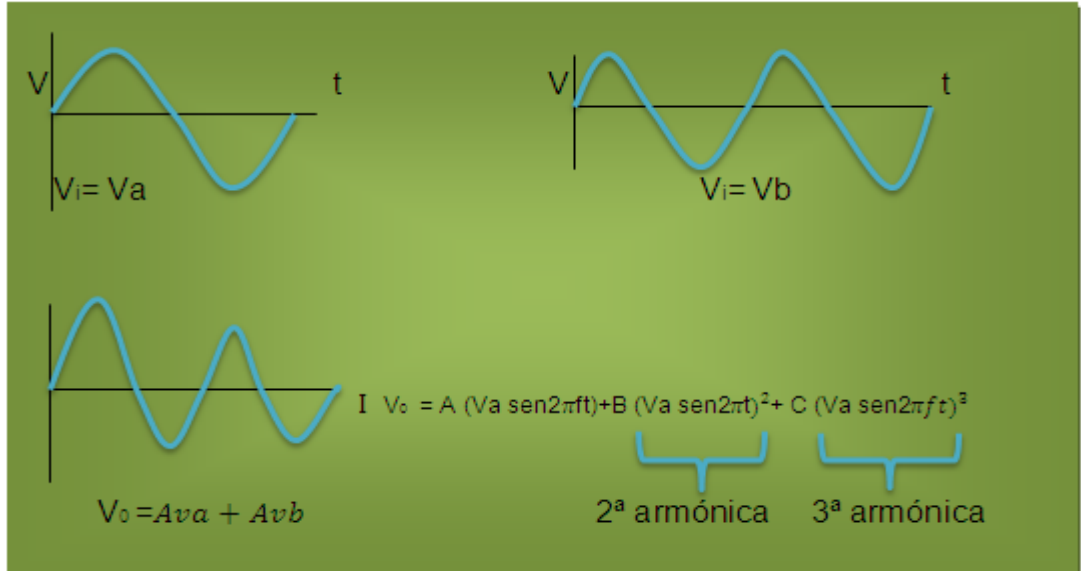
$V_0 = \text{Voltaje de salida}$

$V_A = \text{voltaje operacional de señal}$

$f_A = \text{frecuencia}$

Para representar una entrada múltiple, alterada en su comportamiento por agentes externos, se referencia la figura 5, pues debe entenderse que en el cerebro se producen señales eléctricas y químicas durante la sinapsis, siendo su comportamiento análogo a la estructura formal de un oscilador simple, tal como el que se muestra en la figura 6; se puede observar en dichas representaciones la presencia de las armónicas fundamentales que crecen de acuerdo con el parámetro generador asociado con la señal fuente. [3]

**Figura 5:** Proceso de entrada Múltiple



**Fuente:** Aporte realizadores

En la figura 6, se utiliza la siguiente simbología:

Ci = condensador

Li = bobina rectificadora

Q = Transistor

Ri = resistencia

V0 = Voltaje

Verificándose dada su operación que:

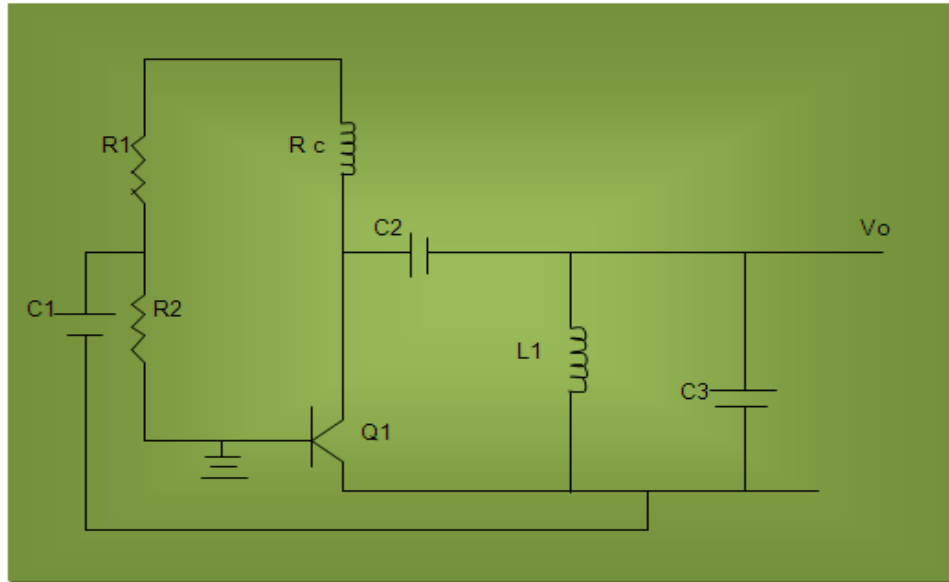
$$F0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ En donde:}$$

F0= Frecuencia.

L= inductancia (generada por boina).

C= capacitancia.

**Figura 6:** Estructura del oscilador



**Fuente:** Tomasi Wayne. Comunicaciones electrónicas

### 2.1.3. FUNDAMENTOS DE LA ELECTRÓNICA DIGITAL

Normalmente los procesos relacionados con la captación de señales producidas en el cerebro humano, bien sea por referenciación de la epidermis, por acción de las células receptora de sonido, las células basales, o el sistema óptico, se pueden homologar funcionalmente con el nivel de operación de los bloques electrónicos tanto a nivel elemental o básico como a nivel combinacional.

En el primer grupo se encuentran los bloques señalados por la figura 7, sus funciones de salida a nivel de referenciación de voltaje son:

➤ Bloque Yes

X	X
1	1
0	0



➤ Bloque Not

$X$	$\overline{X}$
1	0
0	1

➤ Bloque And

$X$	$Y$	$Z = X.Y$
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

➤ Bloque Or

$X$	$Y$	$Z = X+Y$
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

➤ Bloque Xor

X	Y	$Z = X \oplus Y$
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

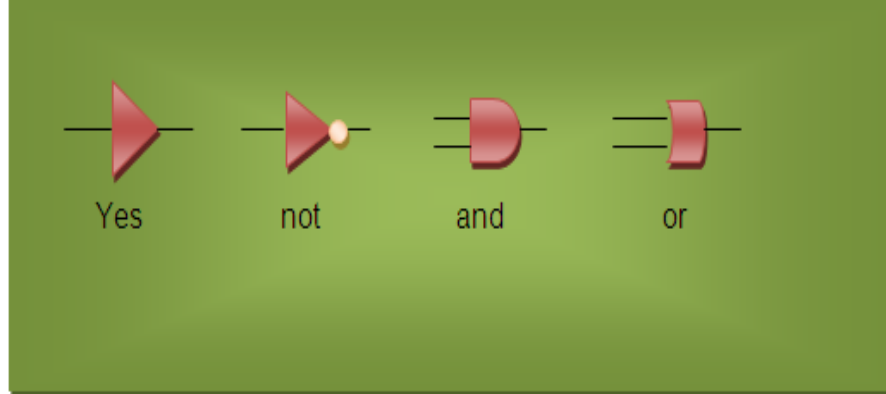
➤ Bloque Nand

X	Y	$Z = \overline{X \cdot Y}$
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

➤ Bloque Nor

X	Y	$Z = \overline{X + Y}$
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

**Figura 7:** bloques electrónicos básicos

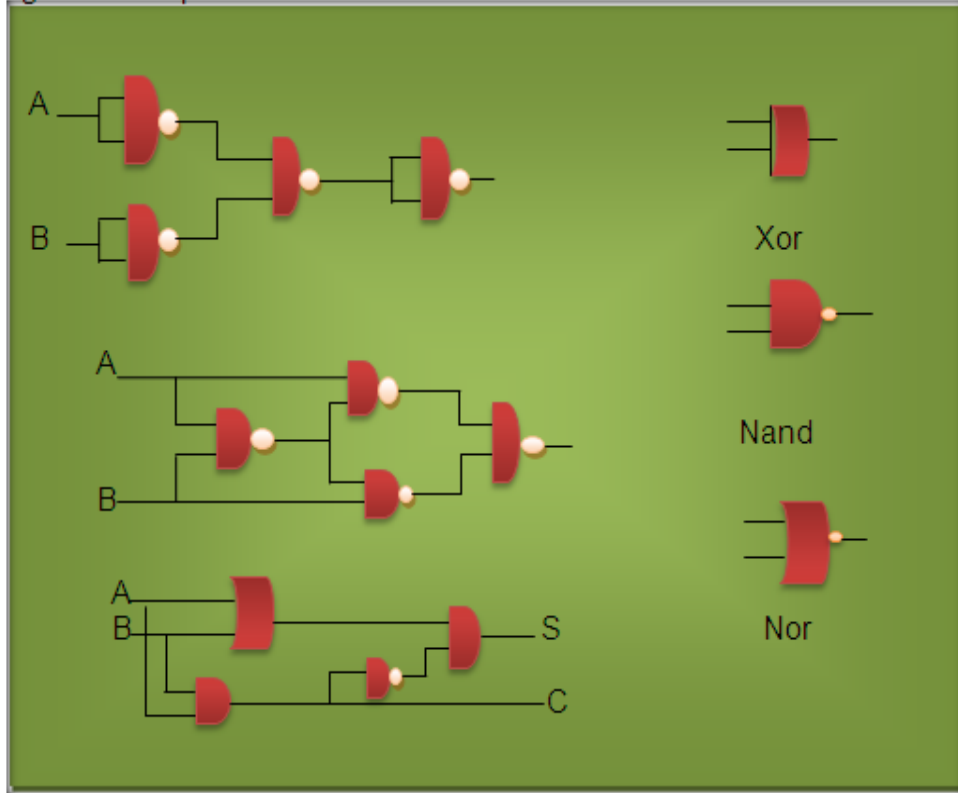


**Fuente:** aporte realizadores

Las compuertas combinacionales, se ilustran en la figura 8 y se presentan también como ejemplificación del xor utilizando compuertas nand y la construcción de un circuito sumador de 2 bits en el que la suma y el acarreo evidencian señales independientes, es decir son fiel reflejo de la compartimentación cerebral, la cual permite comprender la relación existente entre las neuronas y los astrocitos y el cito sol y la mitocondria, es decir electrónicamente se comprenden el proceso entre la glucosa y los sustratos cuantitativos propios del metabolismo, hecho que se registra en la figura 9 y 10.

La compuerta xor implementada en la figura 8 con la ayuda de las compuertas nand, ilustra como el flujo de voltajes que se operacionalizan en los bloques mantienen su comportamiento estándar de la misma manera que ocurre con el proceso de la glucosa y los aminoácidos en el cerebro.

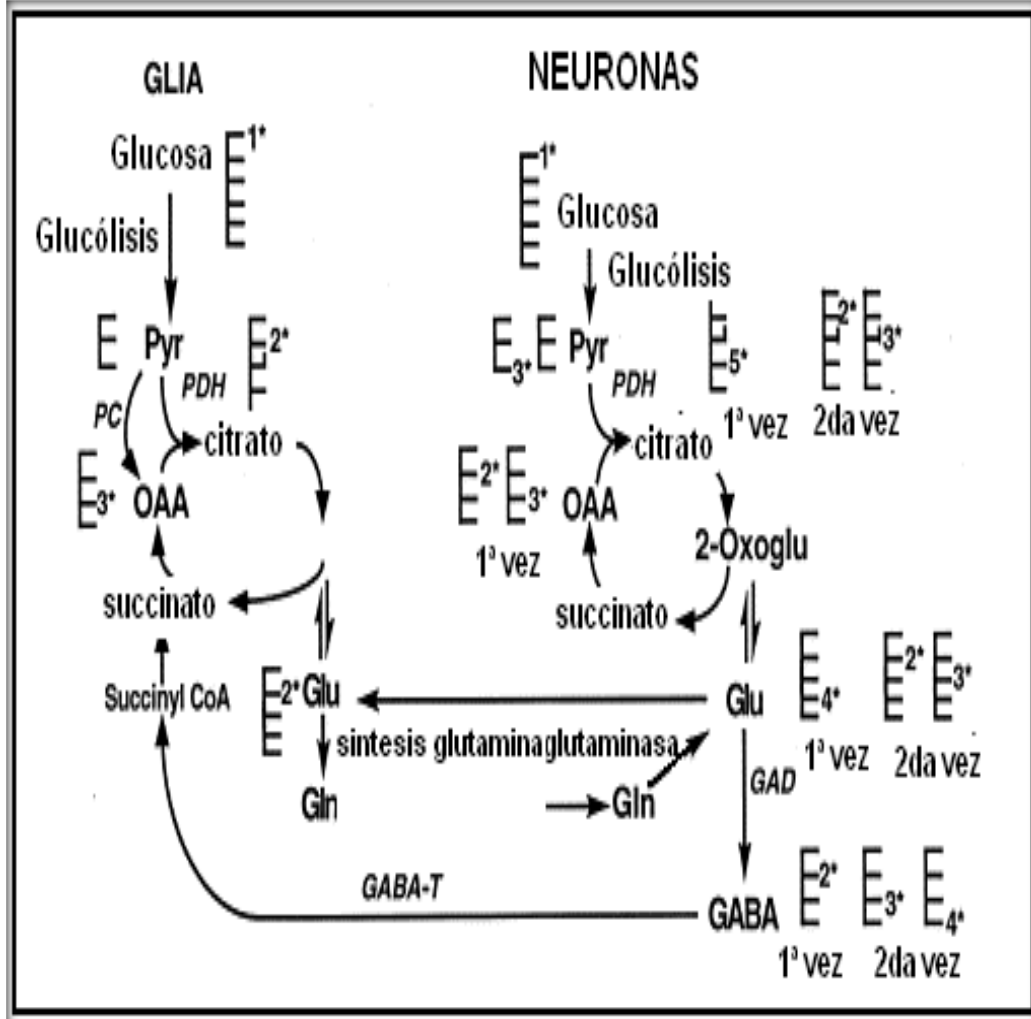
**Figura 8:** compuertas combinacionales



**Fuente:** Aporte realizadores

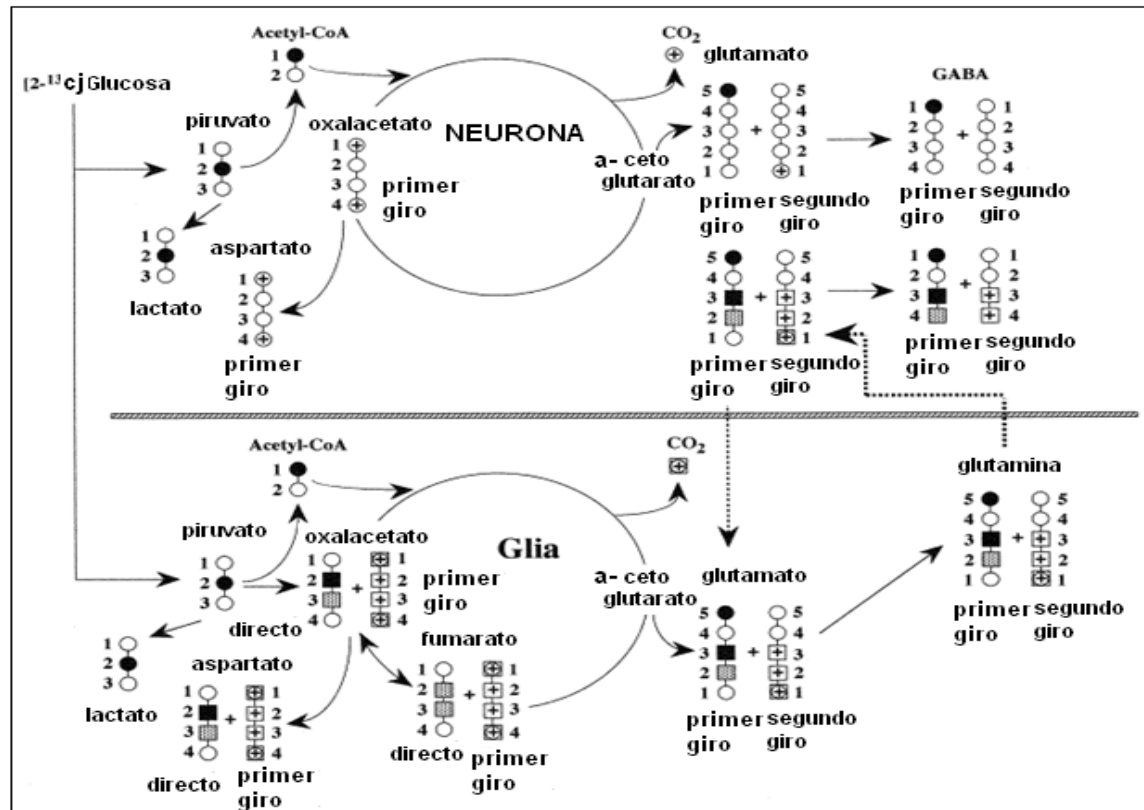
La modelación de los procesos relacionados con el trabajo de las neuronas y de las células gliales presuponen entonces la intervención de agentes que almacenan o detienen momentáneamente una señal producida, hecho que se traduce electrónicamente con el empleo de los flip-flops, y el JK flip-flop se muestran en la figura 11.

**Figura 9:** Ejemplificación del proceso de comportamiento intracelular



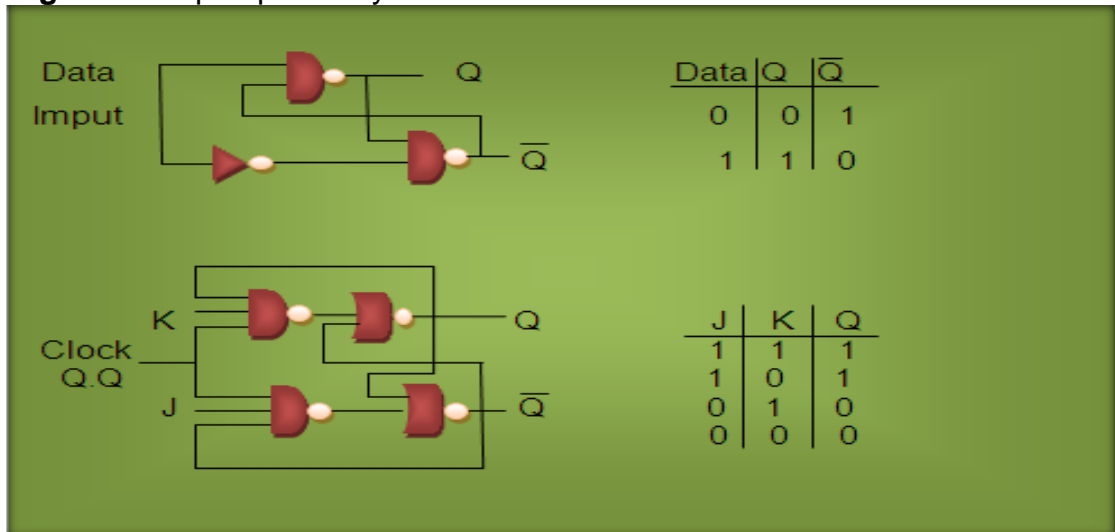
**Fuente:** Tovar Franco Jairo Alfonso. Neurobioquímica

**Figura 10:** ejemplificación del comportamiento metabólico en el cerebro



**Fuente:** Tovar Franco Jairo Alfonso. Neurobioquímica

**Figura 11:** flip-flops data y JK



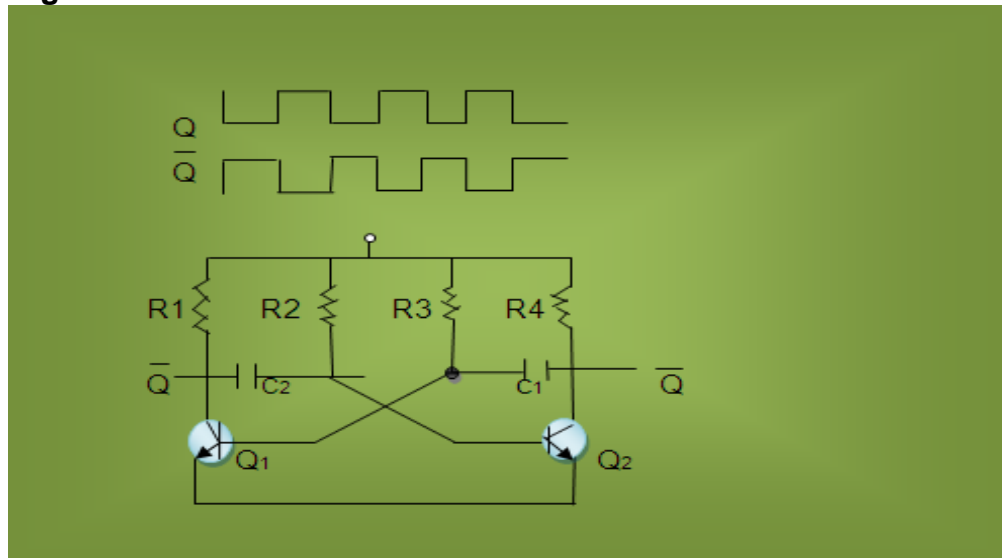
**Fuente:** Martin José María. Hardware micro informático

Adicionalmente el papel cumplido por los neurotransmisores es decir de aquel grupo de sustancias químicas que producen un cambio en el potencial de acción

de la neurona dada a su naturaleza aminoácida, se puede modelar digitalmente por la generación y conversión de pulsos en ondas cuadradas, mediante la operación de un multivibrador, el cual restaura pulsos al convertir ondas sensoriales en cuadradas, fiel reflejo de la acción de los aminoácidos excitatorios (homosisteco, aspártico y glutámico) que producen una despolarización de la membrana post sináptica para aumentar la membrana neuronal, mientras que los aminoácidos inhibitorios ( gama aminobutírico, taurina, glicina y alanina), producen la hiper polarización de la membrana disminuyendo la actividad neuronal.

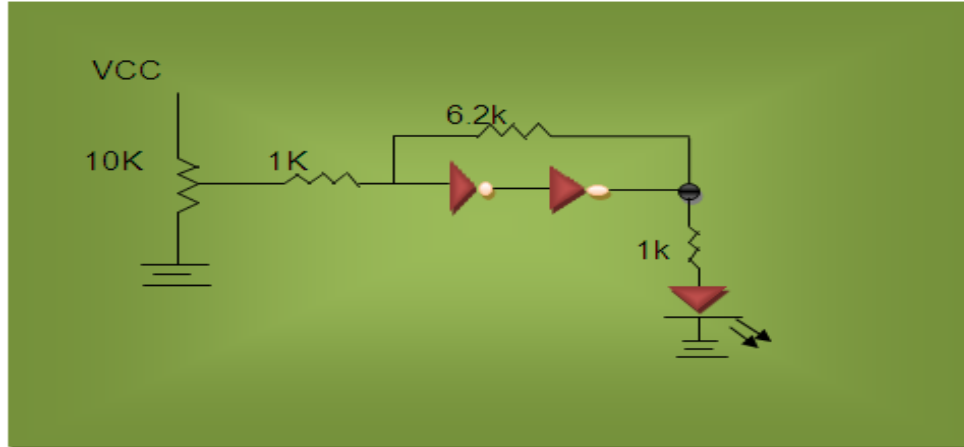
En la figura 12, se ilustra el multivibrador Schmitt-Trigger, cuyo efecto puede ser homologado directamente con la acción mostrada por la figura 13, en la cual se visualiza los componentes integrales del proceso neurotransmisor o neuromodulador, como transmisores o propagadores de mensajes.

**Figura 12:** estructura del multivibrador



**Fuente:** Dónate Antonio. Electrónica digital fundamental

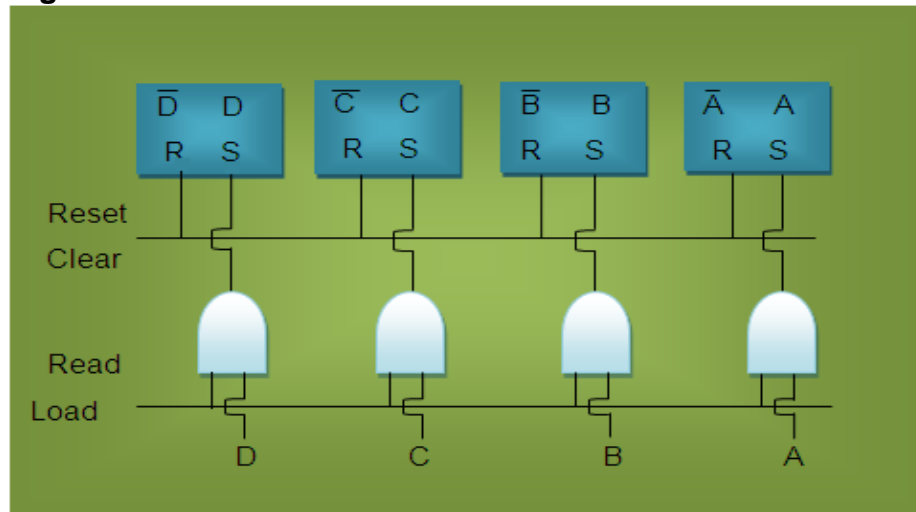
**Figura 13:** circuito conversor multivibrador



**Fuente:** Dónate Antonio. Electrónica digital fundamental

De tal manera como sucede dentro de la química asociado con el neurotransmisor desde su síntesis hasta su inactivación por degradación o reabsorción, en electrónica digital, en el siguiente circuito señalado en la figura 11 identifica como la presencia de una enzima mediante la recaptación, es decir cuando la célula pre sináptica almacena el neurotransmisor en su interior, de tal forma que cuando los inversores activan la señal correspondiente al diodo para hacer la conversión respectiva.

**Figura 14:** circuito elemental de almacenamiento



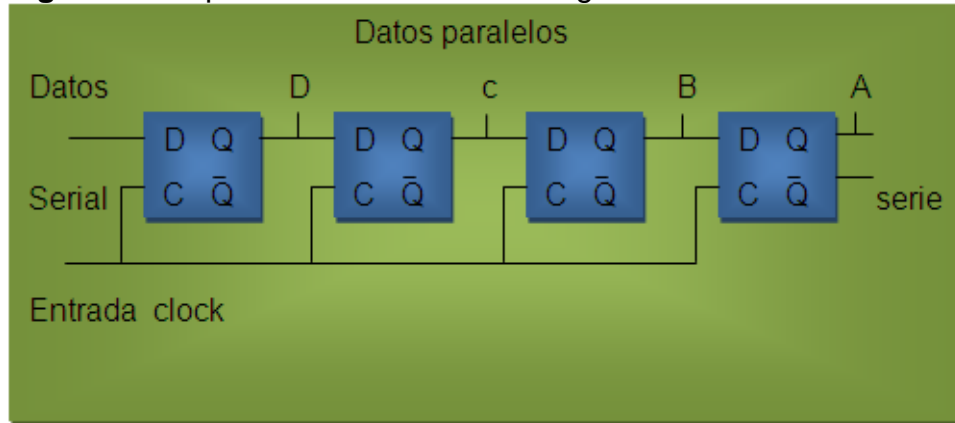
**Fuente:** Dónate Antonio. Electrónica digital fundamental

Finalmente, la visualización e implementación integral de las funciones cumplidas por los neuromoduladores como sustancias peptídicas que se originan fuera de la sinapsis y modifican la excitabilidad neuronal tales como los neuropéptidos, la sustancia P y la prostalgina [4], se pueden equiparar con la implementación de



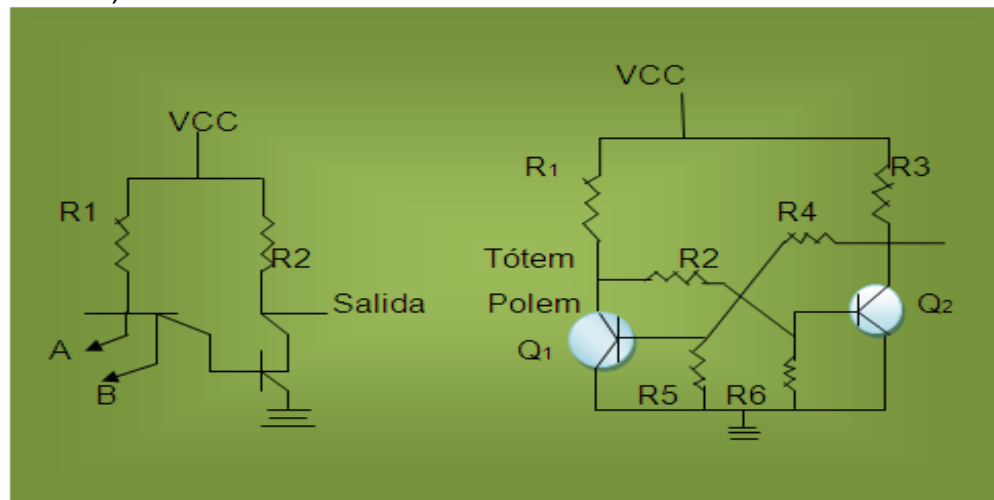
una unidad de almacenamiento con su Clear y su load empleando para ello cuatro flip-flop RS, hecho que se observa en las figuras 12 y 13 como señalización de apertura y proceso múltiple.

**Figura 15:** Implementación Del Shift Register



**Fuente:** Dónate Antonio. Electrónica digital fundamental

**Figura 16:** Operación Con Lógica De Tres Estados (THREE STATE LOGIC)



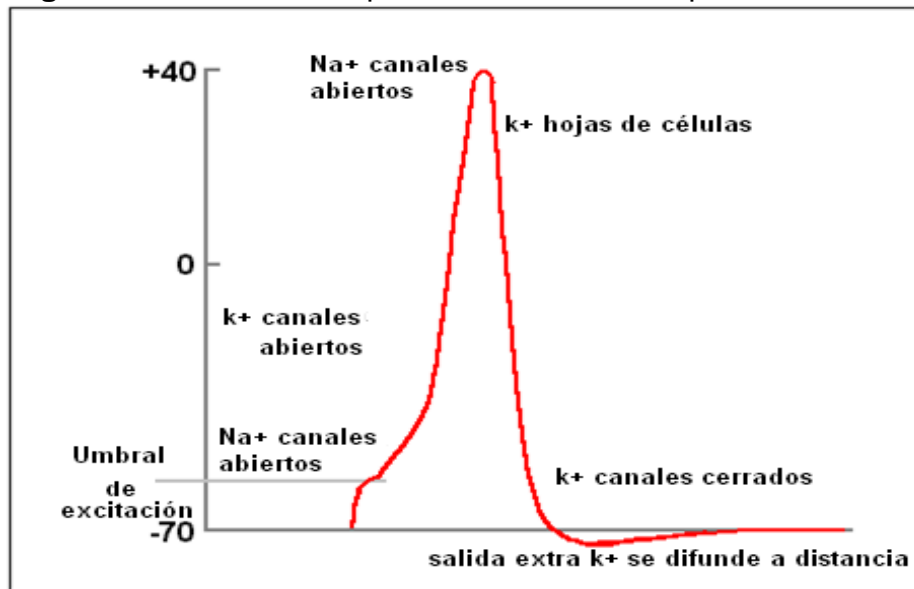
**Fuente:** Dónate Antonio. Electrónica digital fundamental

#### 2.1.4. CONTROL DE TRANSMISIÓN

En el cerebro, la transmisión es un simple desplazamiento de cargas electrónicas por la membrana neuronal, hecho que se verifica fácilmente con la electroencefalografía; el impulso nervioso es una onda de electronegatividad que recorre la neurona por la existencia de un cambio transitorio de la permeabilidad en la membrana celular que se polariza por la distribución de cargas eléctricas [4];

La variación del potencial de acción, se ilustra con la figura 17.

**Figura 17:** Variación del potencial durante el impulso nervioso



**Fuente:** Tovar Franco Jairo Alfonso. Neurobioquímica

La matematización del proceso mostrado en la figura 18, que ilustra la acción del fotorreceptor de la retina [5], podría expresarse según conceptualización propia de los sistemas estables y asintóticamente estable, estudiados en ecuaciones diferenciales [6], que valoran:

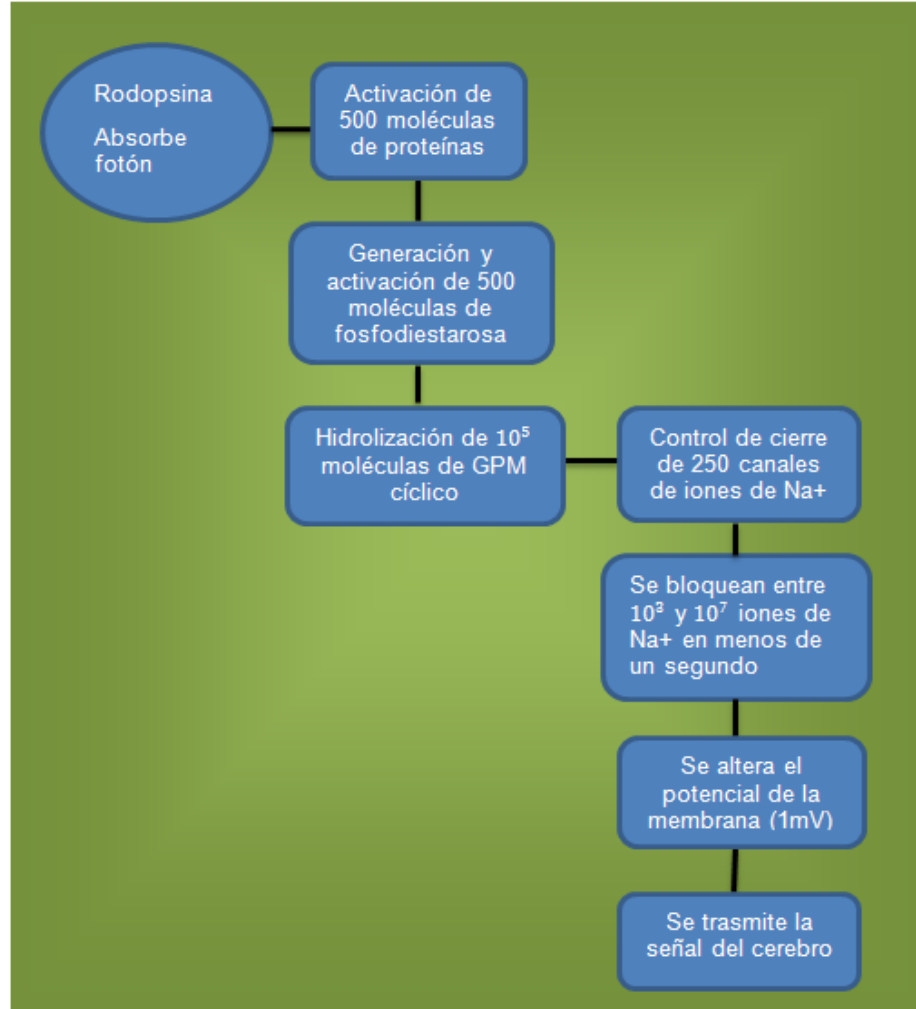
$$\dot{X} = ax + by \quad X = y$$

$$\dot{Y} = cx + dy \quad Y = x$$

$$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$i^2 = (a + b)\lambda(ad - bc) = 0 \quad \text{Valores propios} \begin{bmatrix} -\lambda & 1 \\ 1 & -\lambda \end{bmatrix} = 0 \quad \lambda^2 - 1 = 0$$

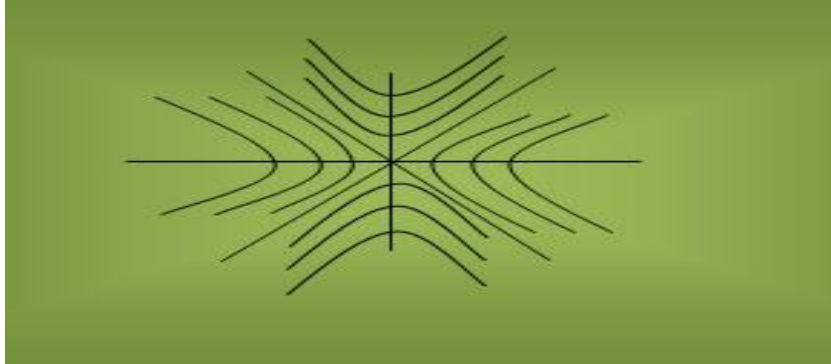
**Figura 18:** Proceso de Conversión de Señal en el Ojo



**Fuente:** Rovasio Roberto. Sistemas sensoriales

Cuya interpretación sistémica, se homologa a un sistema inestable (silla de montar) ver figura 19.

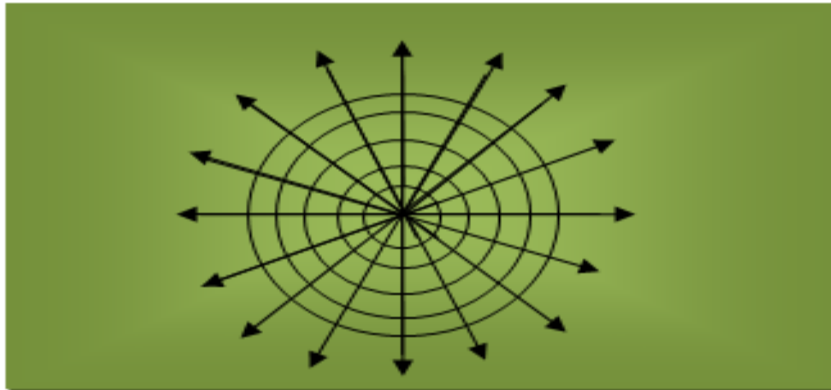
**Figura 19:** Sistema Inestable. Silla De Montar



**Fuente:** Kreider Donal. Ecuaciones diferenciales

Y a su sistema estable (estrella) ver figura 20.

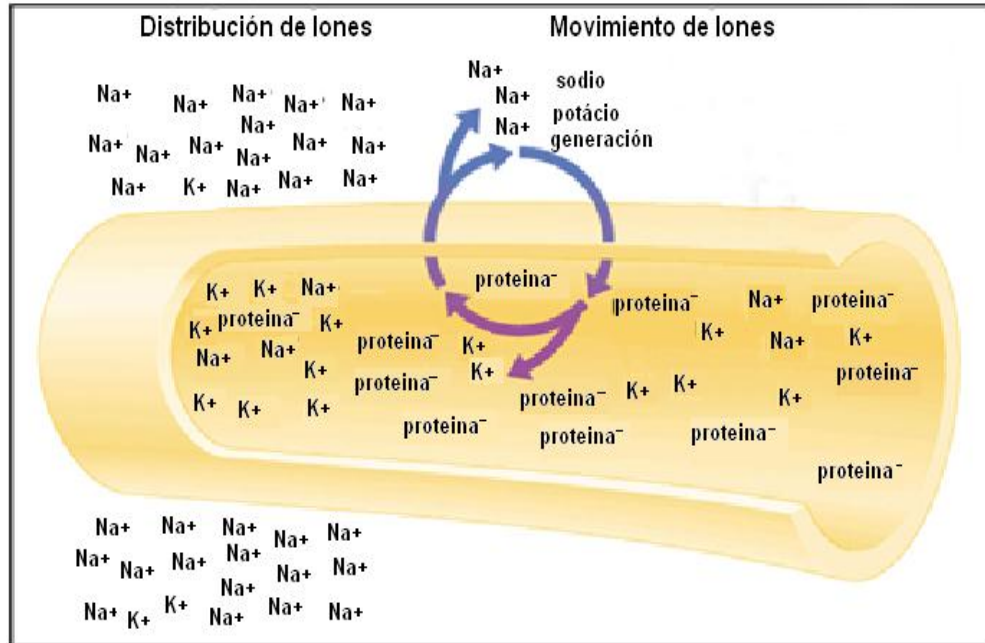
**Figura 20:** Sistema Estable



**Fuente:** Kreider Donal. Ecuaciones diferenciales

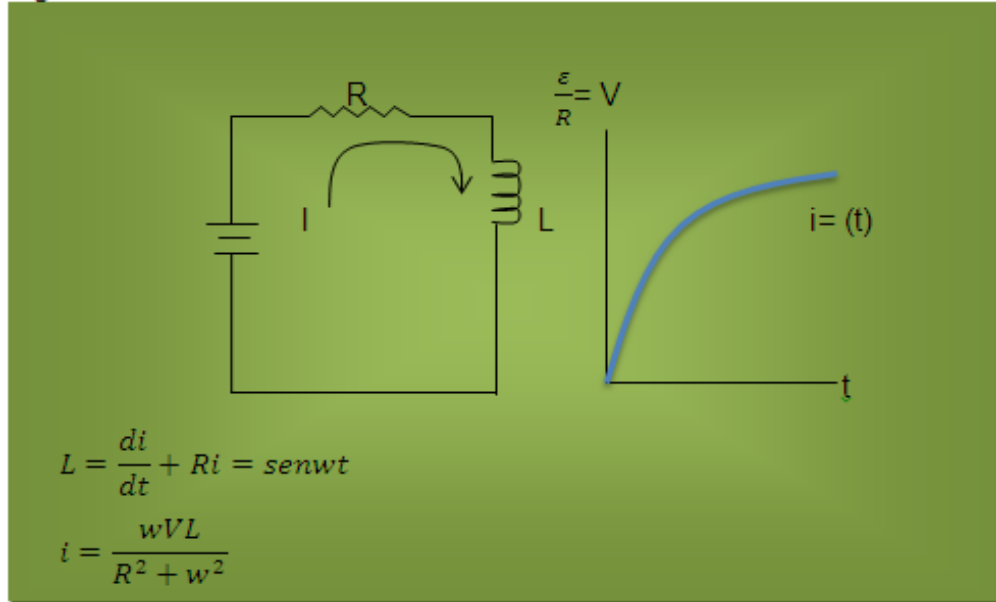
El proceso químico producido por los iones de potasio y de sodio, que invierte la diferencia de voltaje (exterior negativo e interior positivo, cerca a +30mv), que se presenta en la figura 21, se puede asemejar el cambio de intensidad valorado en la figura 22.

**Figura 21:** proceso iónico. Distribución y movimiento



**Fuente:** Tovar Franco Jairo Alfonso. Neurobioquímica

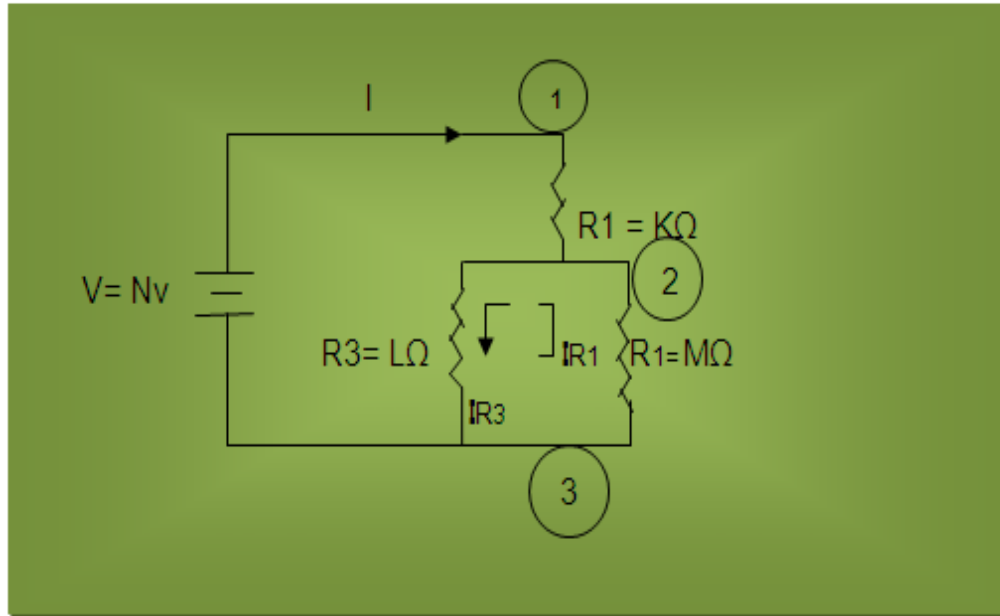
**Figura 22:** control de intensidad en el circuito



**Fuente:** Aportes realizadores

El comportamiento del umbral de excitabilidad, es decir la cantidad de estímulo necesario para provocar la actividad en la neurona tiene un comportamiento creciente durante la atracción de los cationes de carga negativas, hecho que es interpretado eléctricamente por la evaluación de la figura 23.

**Figura 23:** Analogía umbral de excitación



**Fuente:** Aportes realizadores

## 2.2. FUNDAMENTACIÓN ANATÓMICA

Para diseñar y construir dispositivos cuya estructura lógica emulen la funcionalidad del cerebro, es preciso describir la complejidad espacio temporal de los fenómenos de reconocimiento, comunicación, organización y regulación, de tal manera que se aprecie la correlación existente entre las funciones motoras, funciones de control y las especializaciones del cerebro, elementos que se describirán a continuación.

### 2.2.1. ESTRUCTURA DEL CEREBRO

Funcionalmente el cerebro anatómicamente representa el 50% de la masa encefálica, este se encuentra constituido por dos hemisferios cerebrales unidos por el cuerpo calloso, su peso se fija en 1350 gramos en donde se almacenan 10.000 millones de neuronas, que asocian los procesos sinápticos establecidos por  $10^{14}$  [5].

Su estructura, mostrada en la figura 24, permite identificar las siguientes capas:

**Capa I** Plexiforme o molecular, con escasos cuerpos neuronales y predominio de las fibras nerviosas.

**Capa II** Granulosa externa, o células piramidales pequeñas.

**Capa III** células piramidales medianas.

**Capa IV** Capa granulosa interna

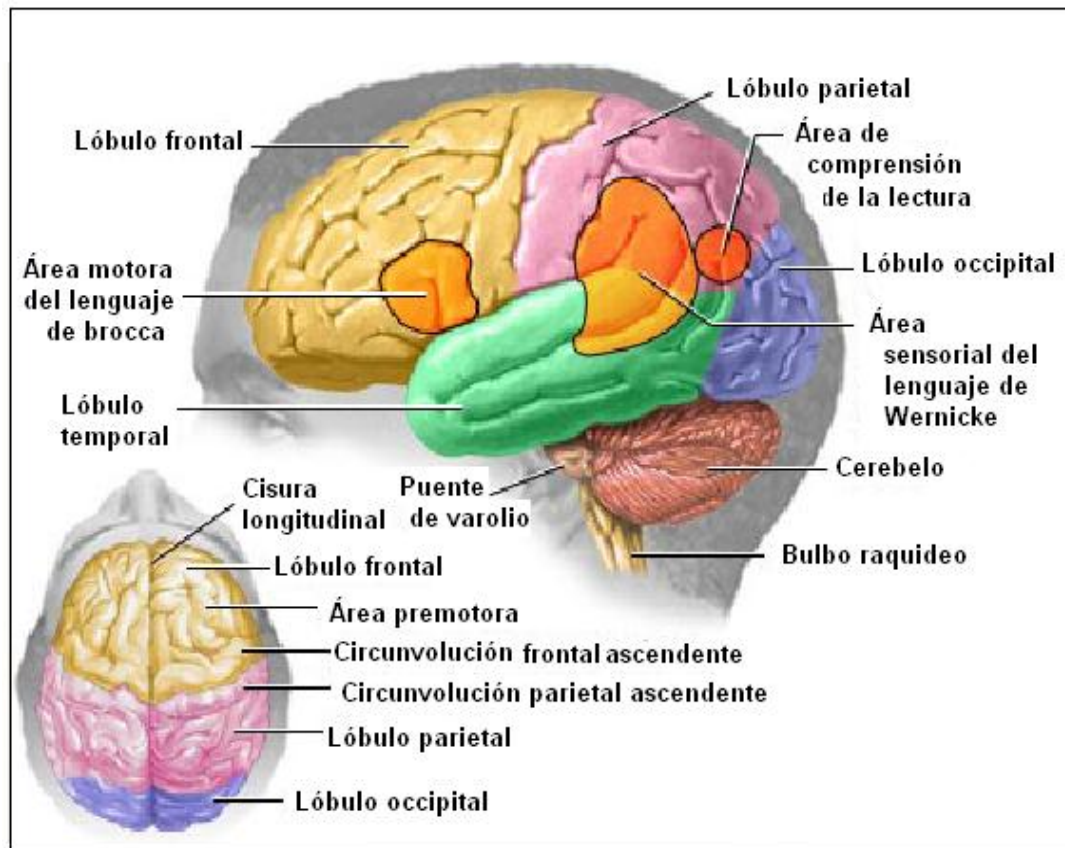
**Capa V** células piramidales grandes, o células de Betz; es la zona motora de la corteza.

**Capa VI** células polimorfas o fusiformes

Estructuralmente las fibras que lo conforman son de estructura transversal y longitudinal conformación uniforme eosinófila, que a nivel computacional se compara fácilmente con los caminos de conectividad en los circuitos que construyen una tarjeta o dispositivo.

Dada la orientación del proyecto y su naturaleza investigativa, para comprender los procesos relacionados con la coordinación del movimiento, se presenta en el siguiente numeral la estructura anatómica del cerebelo.

**Figura 24:** Estructura funcional del cerebro



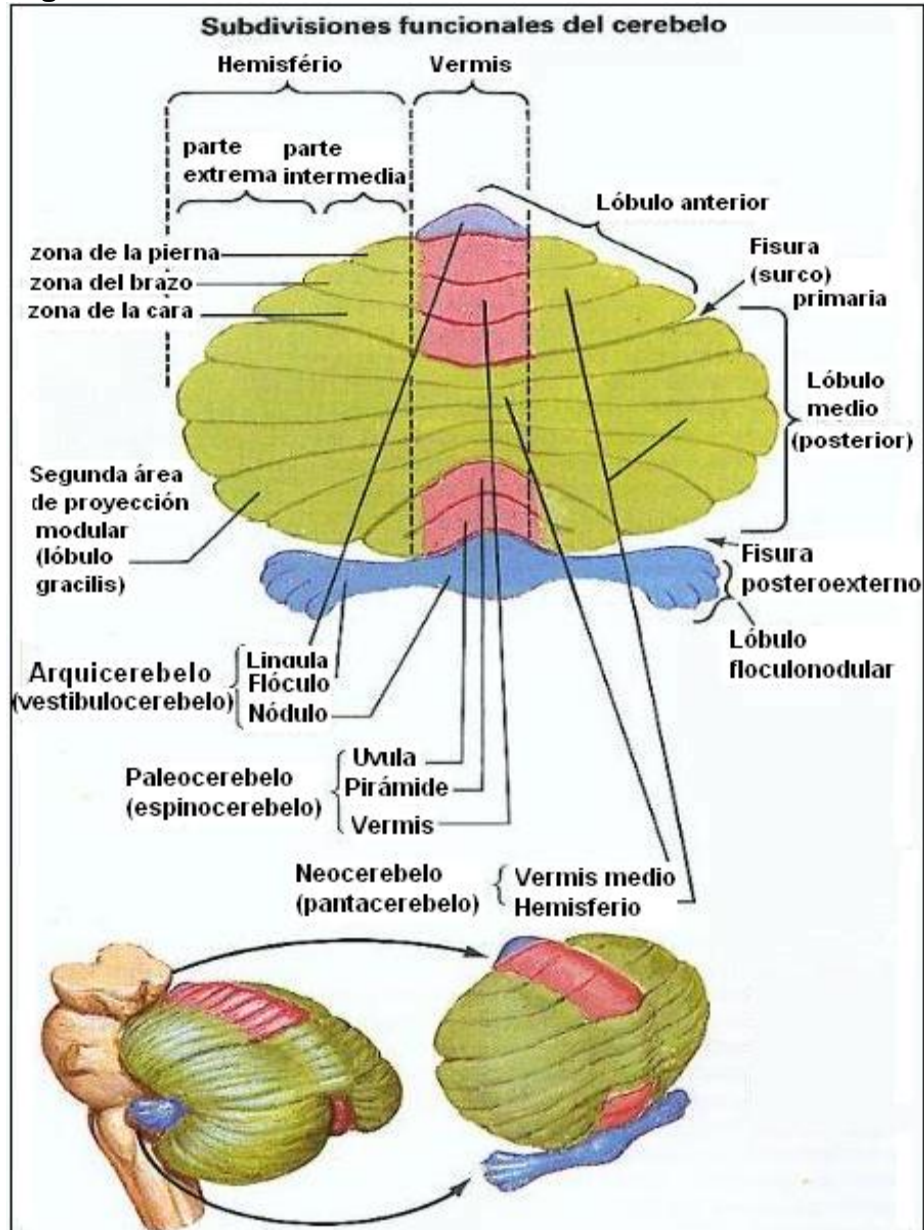
**Fuente:** [http://www.ferato.com/wiki/images/1/1c/20080401\\_mgb\\_Cerebro\\_.jpg](http://www.ferato.com/wiki/images/1/1c/20080401_mgb_Cerebro_.jpg)

### 2.2.2. EL CEREBELO

El cerebelo coordina los movimientos de mayor precisión al regular la información sensitiva somática aferente que se correlaciona con la eferente motora del cerebro y del tronco del encéfalo, en la figura 25 se aprecia su conformación pudiéndose identificar los dos hemisferios cerebelosos unidos por el vermes, junto con la corteza cerebelosa formada por las sustancia gris y la sustancia blanca.



**Figura 25:** conformación funcional del cerebelo



**Fuente:** <http://3.bp.blogspot.com/Cerebelo+subdivisiones.jpg>

Las capas que componen la corteza cerebelosa son:

➤ **Capa molecular**

Contiene pocas células y predominio de fibras o procesos neuronales.

➤ **Capa de células de Purkinje**

Con arborización dendrítica extendida hacia la capa molecular y sus axones orientados hacia la zona molecular de la sustancia blanca.

➤ **Capa de granos**

Formada por pequeñas neuronas granulares cuyos axones se proyectan hacia la zona molecular para establecer la sinapsis por las células de Purkinje, que se asocian con las células de Golgi y las neuronas estrelladas.

### **2.2.3. LA MEDULA ESPINAL**

La medula espinal es una masa cilíndrica, dividida en 31 segmentos: 8 cervicales, 12 dorsales, 5 lumbares, 5 sacros y una coccígea, la cual se extiende en dirección caudal a partir del bulbo raquídeo, tal como se muestra en la figura 26.

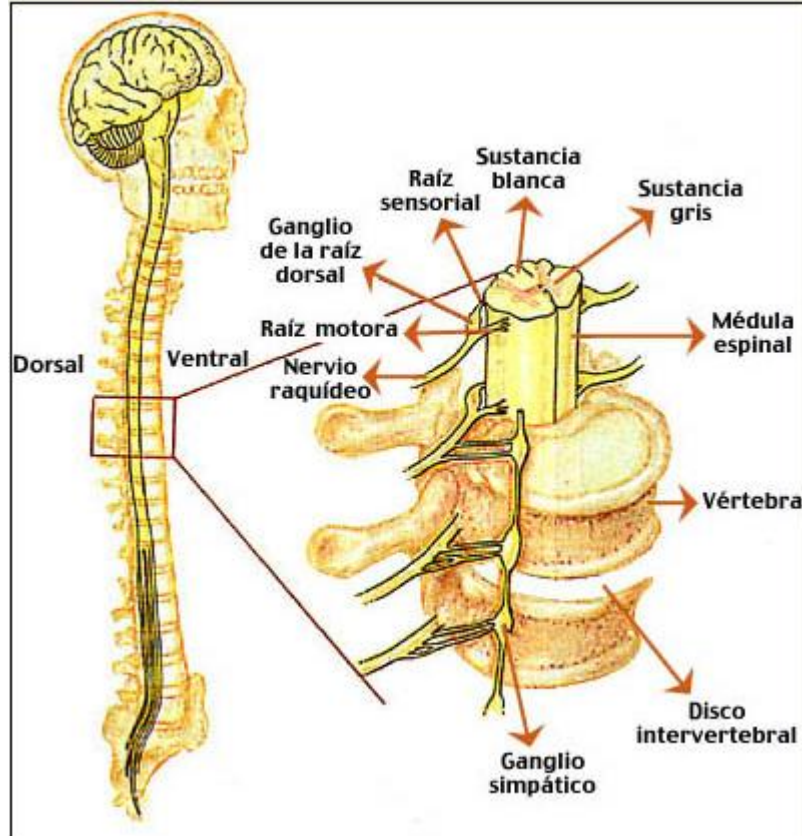
Se identifican en la medula espinal dada su conexión entre el encéfalo y el resto del cuerpo la región central de sustancia gris y la capa externa de sustancia blanca.

A continuación se citaran las características tanto de la sustancia gris como de la sustancia blanca, a saber:

➤ **Sustancia gris**

- Formada por neuronas y células gliales
- Constituida totalmente por inter neuronas que transmite información entre neuronas.
- Geométricamente adopta la forma de una H
- Es responsable de la recepción de fibras aferentes de diferentes tipos que conducen la sensibilidad propia receptiva y táctil.

**Figura 26:** estructura de la medula espinal



**Fuente:** <http://fundacionannavazquez.files.wordpress.com>

➤ **Sustancia blanca**

- Formadas por axones y células gliales.
- Se segmenta longitudinalmente en dos mitades
- Los cordones de su sustancia están constituidos por tratos de fibra mielínicas.

#### **2.2.4. COMPONENTES FORMALES COMPLEMENTARIOS**

Para los propósitos del proyecto, se requiere describir las fibras, los nervios, las terminaciones periféricas y los ganglios.

➤ **Fibras nerviosas**

- Entidades conformadas por axones, rodeados por una o más envolturas, que constituye en el sistema nervioso periférico los principales componentes de los nervios, anatómicamente se identifican dos fibras:

- **Fibras amielínicas:**

Tienen envoltura de células de Schwann, carecen de vaina de mielina, tal como las fibras de Remak.

- **Fibras mielínicas**

Poseen una vaina mielínica formada por cálculos de Schwann y rodean al axón con capas concéntricas de su membrana plasmática.

- **Nervios**

Conforma la parte esencial del sistema nervioso periférico, se encuentra rodeada por un tejido conjuntivo denso vascularizado que se disponen longitudinalmente para formar la envoltura exterior o epinervio, el cual envía tabiques al interior que envuelve al perineuro, cada fibra nerviosa está envuelta por el endoneuro.

Los nervios conforman los transmisores o conectores de la información producida, para ello debe recordarse que los axones de las neuronas centrales encadenan tanto a las fibras eferentes como a las fibras aferentes

- **Terminaciones periféricas**

Las terminaciones periféricas son agrupaciones de axones que de acuerdo a sus funciones pueden ser somáticas o viscerales, las somáticas son axones que parte de neuronas cuyo cuerpo celular está ubicado en el núcleo motor del nervio craneal correspondiente informa la unión mioneural, mientras que en las viscerales los axones parten de las neuronas ganglionares y terminan en vasos sanguíneos, de los folículos pilosos y de las glándulas.

- **Ganglios nerviosos**

Los ganglios nerviosos son grupos de neuronas que se encuentran por fuera del sistema nervioso central y de acuerdo a la función cumplida pueden ser catalogados ganglios sensitivos y ganglios autónomos.

Los ganglios sensitivos son grupos de neuronas con prolongaciones centrales y periféricas asociada con un tejido conjuntivo que las une al perineuro al epineuro de los nervios vecinos, los ganglios autónomos se encuentran en el sistema parasimpático de las paredes de los órganos a los cuales inerva tales como el corazón o el intestino.

## **2.3. SISTEMA SENSORIAL**

La elaboración de respuesta producto de la recepción de una señal en el sistema nervioso es análoga a lo sucedido en cualquier circuito electrónico que mediante una acción genera la correspondiente reacción.

Con el siguiente ejemplo se observa electrónicamente como se puede trabajar con un decodificador utilizando para ello un display de 7 segmentos: el display se visualiza en la figura 27 y la estructura funcional se muestra en la tabla 1.

**Figura 27:** Estructura del display



**Fuente:** Aporte realizadores

**Tabla 1:** operaciones del conversor

<div>Operaciones activas</div> <div>Dígitos</div>	A4	A3	A2	A 1	Segmentos del display						
	8	4	2	1	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Fuente:** Aporte realizadores

Por ejemplo para la formación de los números 0, 3, 5 y 8 se requieren activos los siguientes segmentos.

3 = a, b, f, c, y d

5 = a, g, f, c y d

8 = a, b, c, d, e, f y g

Lógicamente mediante el empleo de mapas de karnaugh, se puede plantear la funcionalidad de cada segmento del display para ello, se trabajara cada una de las ecuaciones siguientes, construida con referencia a la siguiente tabla (tabla 2)

**Tabla 2:** Tabla de operación lógica

A3A2 \ A1A0	00	01	10	11
00	1	0	1	1
01	0	1	1	1
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

**Fuente:** Aporte realizadores

Las ecuaciones son:

$$1 \text{ Segmento a} = (a_4 + a_3 + a_2 + \bar{a}_1) * (a_4 + a_3 + \bar{a}_2 + a_1)$$

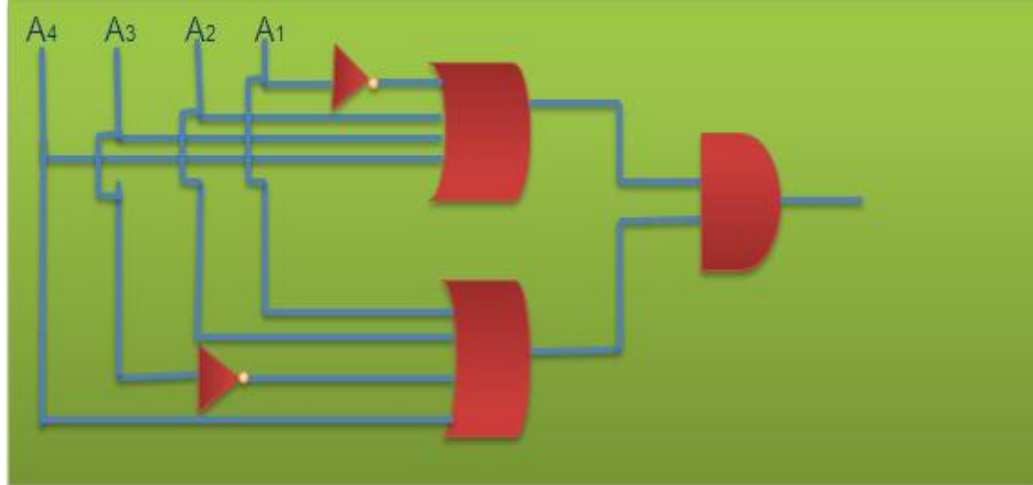
$$2 \text{ Segmento b} = (a_4 + \bar{a}_3 + a_2 + \bar{a}_1) * (a_4 + a_3 + \bar{a}_2 + a_1)$$

$$3 \text{ Segmento c} = (a_4 + a_3 + \bar{a}_2 + a_1)$$

$$4 \text{ Segmento d} = (a_4 + a_3 + a_2 + \bar{a}_1) * (a_4 + \bar{a}_3 + a_2 + a_1) * (a_4 + \bar{a}_3 + a_2 + \bar{a}_1)$$

Para efectos de presentación se utiliza la figura 27 para ilustrar el circuito de control para el segmento a, la realización de los demás circuitos es idéntica.

**Figura 28:** circuito de control de segmento A

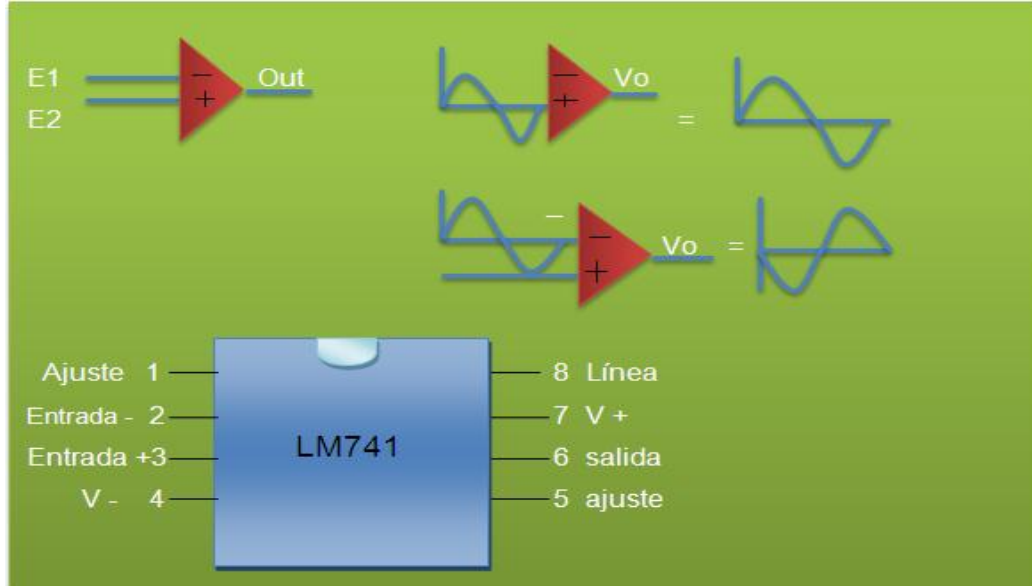


**Fuente:** Aportes realizadores

El cerebro recibe las señales captadas por el sistema sensorial actuando como un temporizador, un generador, un comparador y amplificador, operaciones que son emuladas por el integrado LM741 en el que por el enlace positivo recibe una señal reproduce la misma, pero si esta señal ingresa por el enlace negativo su salida es una onda desfasada hecho reproducible en toda su extensión por los receptores de cada uno de los órganos del cuerpo humano, tal como se expondrá al considerar la estructura del sistema sensorial. La figura 29, muestra los pines del 741 y su comportamiento, denotando su alta ganancia de señal y uso de la retroalimentación.

Anatómicamente la localización de los receptores está condicionado por su función, pues por ejemplo los sensores asociados con la vista y el oído no solo están retirados de la superficie corporal, sino que también están protegidos por estructuras mecánicamente sólidas, se detalla a continuación los sistemas que actúan fisiológicamente en el organismo, a saber [7].

**Figura 29:** estructura LM741



**Fuente:** <http://www.national.com/DS/LM/LM741.pdf>

### 2.3.1. SENTIDO DEL OLFATO

En el cuerpo humano se identifica el sistema olfatorio principal y el sistema accesorio, en este se encuentra el órgano vomeronasal de Jacobson que interviene en la quimiorrecepción de feromonas, son elementos de actividad funcional para el mismo:

- Mucosa olfatoria: neuroepitelio, glándulas de Bowman.
- Sustancias protectoras: Lisozima e inmunoglobina A.
- Proteínas OBP (olfactory binding protein)
- Proteína G-OLF (G. olfatoria) permite detectar más de 10.000 olores diferentes.
- Células de soporte: neuronas olfatorias (neuronas bipolares).
- Células basales.

### 2.3.2. SENTIDO DEL GUSTO

Es un sistema de selección y defensa, que permite describir sabores al identificar los 5 estímulos básicos: dulce, amargo, salado, ácido y umami [8], el sabor dulce es producido por moléculas orgánicas (azúcares, aldehídos, glicoles, cetonas amidas, ésteres y aminoácidos, el amargo lo produce los alcaloides, el salado las sales inorgánicas con NaCl, el sabor ácido se debe a sustancias con un PH ácido, y el sabor umami palabra que en japonés significa delicioso, es generado por



aminoácidos tipo L que se hacen presentes de manera potencial con 5 ribonucleótidos en este sistema se distinguen:

- Botones o corpúsculos gustativos que se encuentran en la lengua (mucosa bucal y glándula de Ebner)
- Papilas gustativas
- Papilas filiformes
- Papilas fungiformes
- Papilas foliadas
- Papilas caliciformes
- Células gustativas
  - Células oscuras
  - Células claras
  - Células e intermedias
- Células basales

Se precisa aclarar que además del sentido del gusto y del olfato existen otros quimiorreceptores que responden a las variaciones del CO<sub>2</sub> O<sub>2</sub>, cuya acción se determina en los cuerpos aórticos, cuerpos carotideos y células del glomus [9].

### **2.3.3. SENTIDO DEL TACTO**

Normalmente el sentido del tacto está relacionado con la piel, específicamente la epidermis, que está integrado por células sensoriales, células de queratinocitos, células de Langerhans y células melanocitos; los estratos de la epidermis son:

- Estrato basal o germinativo
- Estrato espinoso
- Estrato granuloso
- Estrato lúcido
- Estrato córneo

La piel es un extenso y completo órgano sensorial en el que se identifican las terminaciones nerviosas libres (ver figura 30), complejo de Merkel, corpúsculo de Meissner, corpúsculo de pacini, bulbo terminal de Krause y de Ruffini, adicionalmente debe entenderse que el proceso de capacitación de señales también es realizado por las glándulas sudoríparas, glándulas sebáceas, los pelos y las uñas.

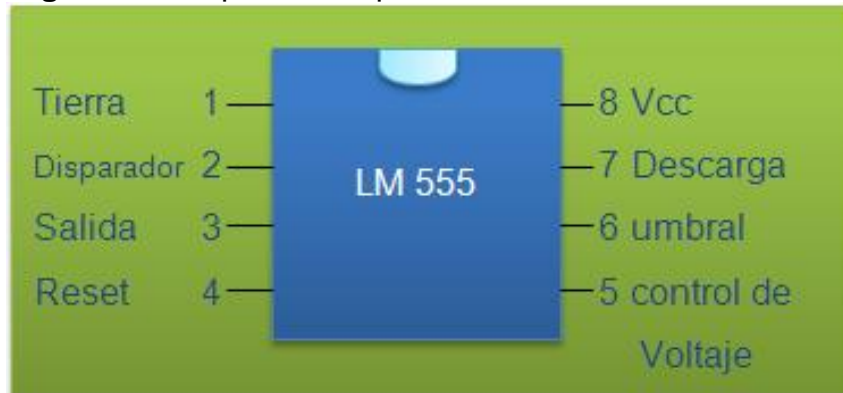
### **2.3.4. SISTEMA AUDITIVO**

Está integrado por el oído externo, oído medio y oído interno, el oído externo consta de dos estructuras, el pabellón auricular (oreja) y el conducto auditivo

externo, el oído medio limita con el externo mediante el tímpano y en el se identifica la membrana de Schrapnell y la región tensa, la caja del tímpano tiene tres huesillos (martillo, yunque y estribo), el oído interno se encuentra ubicado en el interior del peñasco del hueso temporal.

Los receptores del equilibrio se halla ubicada en el vestíbulo asociados con la cresta ampular y los máculas, el órgano de Corti contiene células sensoriales, células ciliadas externas y células de soporte, las células receptoras del sonido son transductores que transforma la energía mecánica de la onda sonora en energía bioeléctrica, esto es gracias a la transducción mecanoeléctrica la información sonora se transforma en el oído interno en un mensaje auditivo que alcanza la corteza cerebral mediante la vía auditiva [10]; comportamiento análogo que es cumplido electrónicamente por el amplificador operacional LM555, cuya estructura se visualiza en la figura 29.

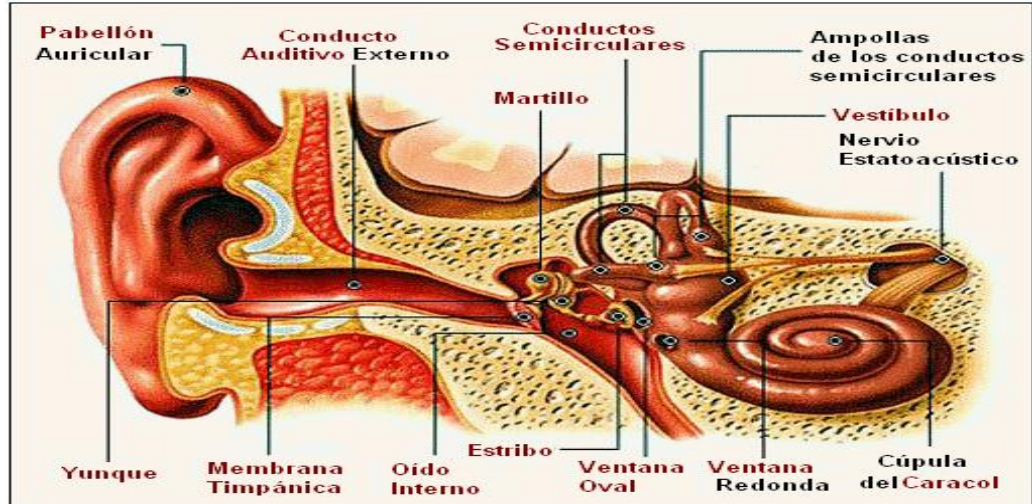
**Figura 30:** Amplificador operacional LM555



**Fuente:** <http://www.national.com/ds/LM/LM555.pdf>

La estructura del sistema auditivo se aprecia en la figura 31.

**Figura 31: Sistema auditivo**

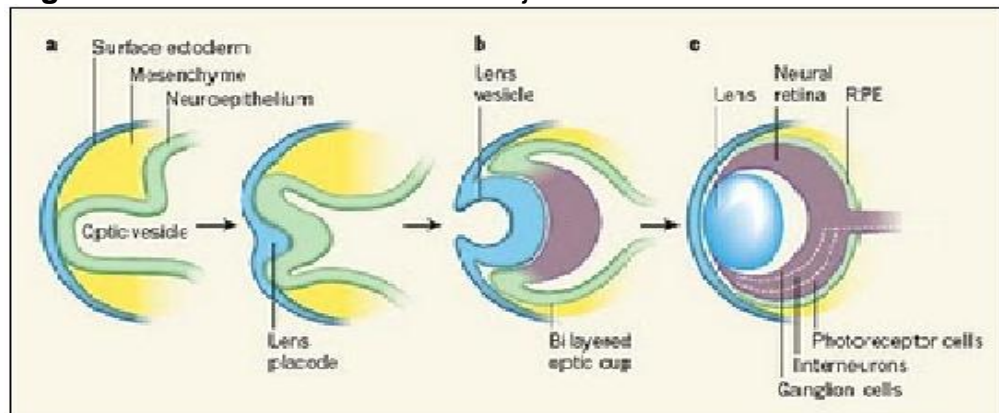


**Fuente:** [http://usuarios.discapnet.es/ojo\\_oido/esquemas\\_cuerpo\\_humano](http://usuarios.discapnet.es/ojo_oido/esquemas_cuerpo_humano)

### 2.3.5. SISTEMA DE LA VISTA

Anatómicamente el desarrollo de la cúpula óptica, la neuroretina, la retina pigmentaria, es un proceso complejo, puesto que su estructura formal está directamente relacionada con la molécula SHH (SONIC HEDGEHOG), y la proteína delta que activa la proteína notch, gráficamente se muestra el complejo molecular y su desarrollo en la figura 32.

**Figura 32: fases de desarrollo del ojo**



**Fuente:** [http://usuarios.discapnet.es/ojo\\_oido/esquemas\\_cuerpo\\_humano](http://usuarios.discapnet.es/ojo_oido/esquemas_cuerpo_humano)

La estructura del ojo se puede visualizar en la figura 32, en donde se identifican los siguientes componentes:

- Esclerótico
- Coroides
- retina

La retina es un tejido conjuntivo en donde se aprecia el nervio óptico y la conjuntiva o mucosa que reviste la superficie interna de los párpados, la coroides es una túnica interna a la esclerótica y está conformada por la capa vascular, la capa capilar y la membrana de Bruch; la retina está ubicada dentro de la coroides y está formada por dos capas, la interna y la externa, a la capa externa se le conoce como epitelio pigmentario, y a la capa interna se le llama neuroretina, esta capa está formada por diferentes tipos de neuronas y permite identificar:

- Tatos receptores: conos y bastones
- Plexiforme externa
- Interneuronas: neuronas bipolares, neuronas horizontales y neuronas amacrinas
- Plexiforme interna
- Neuronas ganglionares
- Fibras nerviosas: células de Müller y nervio óptico

A continuación dada a su importancia se citan las características de los fotorreceptores mencionados.

- Fotorreceptores bastones: están conformados por 120 millones de células de 100 m de longitud, son los responsables del intercambio formal gracias al pigmento visual llamado Rodopsina, la Opsina y el retinal.
- Fotorreceptores conos: estas neuronas ascienden a los 6 millones y permiten la realización de sinapsis con neuronas bipolares, y cualifica la sensibilidad a los colores azul, verde y amarillo.

### **2.3.6. TEORÍA DE LA LUZ**

Físicamente la luz es una radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano dentro del espectro de radiación, normalmente el estudio de la luz implica el considerar los elementos siguientes: velocidad, refracción, propagación y difracción, interferencia, polarización y dispersión; para los propósitos de este trabajo, se precisa considerar los conceptos propios de la teoría ondulatoria y las características inherentes a la teoría de colores.

### 2.3.6.1. TEORÍA ONDULATORIA

Según Christian Huygens, la luz es una onda electrónica, consistente en un campo eléctrico y en un campo electromagnético, los parámetros de esta onda son:

- **Amplitud (A):** Es la longitud máxima respecto a la posición de equilibrio que alcanza la onda en su desplazamiento.
- **Periodo (T):** Es el tiempo necesario para el paso de dos máximos o mínimos sucesivos por un punto fijo en el espacio.
- **Frecuencia (ν):** Número de oscilaciones del campo por unidad de tiempo. Es una cantidad inversa al periodo.
- **Longitud de onda (λ):** Es la distancia lineal entre dos puntos equivalentes de ondas sucesivas.
- **Velocidad de propagación (V):** Es la distancia que recorre la onda en una unidad de tiempo. En el caso de la velocidad de propagación de la luz en el vacío, se representa con la letra c.

La velocidad, la frecuencia, el periodo y la longitud de onda están relacionados por las siguientes ecuaciones:

$$c = \lambda \cdot \nu = \frac{\lambda}{T}$$

#### Fenómenos ondulatorios

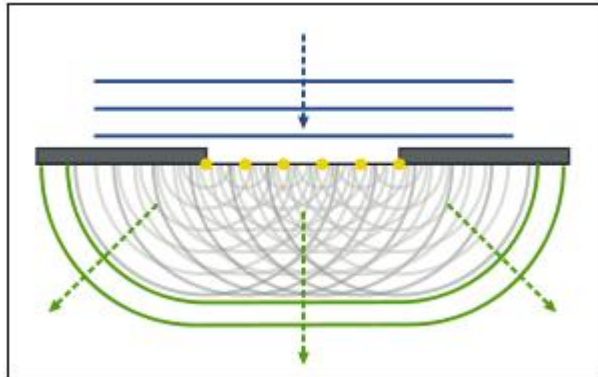
Algunos de los fenómenos más importantes de la luz se pueden comprender fácilmente si se considera que tiene un comportamiento ondulatorio.

El principio de superposición de ondas nos permite explicar el fenómeno de la interferencia: si juntamos en el mismo lugar dos ondas con la misma longitud de onda y amplitud, si están en fase (las crestas de las ondas coinciden) formarán una interferencia constructiva y la intensidad de la onda resultante será máxima e igual a dos veces la amplitud de las ondas que la conforman. Si están desfasadas, habrá un punto donde el desfase sea máximo (la cresta de la onda coincide exactamente con un valle) formándose una interferencia destructiva, anulándose la onda. El experimento de Young, con sus rendijas, nos permite obtener dos focos de luz de la misma longitud de onda y amplitud, creando un patrón de interferencias sobre una pantalla.

Las ondas cambian su dirección de propagación al cruzar un obstáculo puntiagudo o al pasar por una abertura estrecha. Como recoge el principio de Fresnel - Huygens, cada punto de un frente de ondas es un emisor de un nuevo frente de ondas que se propagan en todas las direcciones. La suma de todos los nuevos

frentes de ondas hace que la perturbación se siga propagando en la dirección original. Sin embargo, si por medio de una rendija o de un obstáculo puntiagudo, se separa uno o unos pocos de los nuevos emisores de ondas, predominará la nueva dirección de propagación frente a la original.

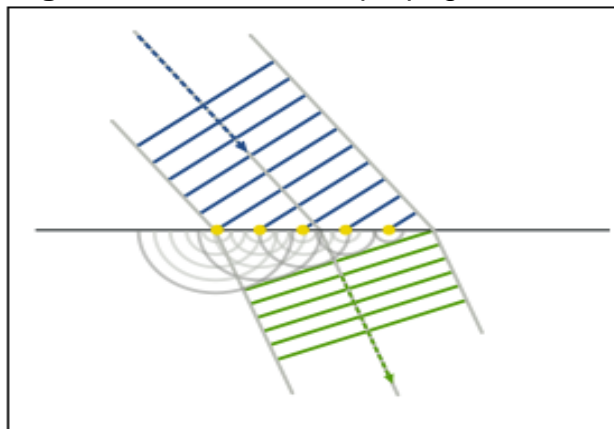
**Figura 33:** Difracción de la luz



**Fuente:** Burbano S., Burbano E., Gracia C. Física General

La difracción de la luz se explica fácilmente si se tiene en cuenta este efecto exclusivo de las ondas. La refracción, también se puede explicar utilizando este principio, teniendo en cuenta que los nuevos frentes de onda generados en el nuevo medio, no se transmitirán con la misma velocidad que en el anterior medio, generando una distorsión en la dirección de propagación:

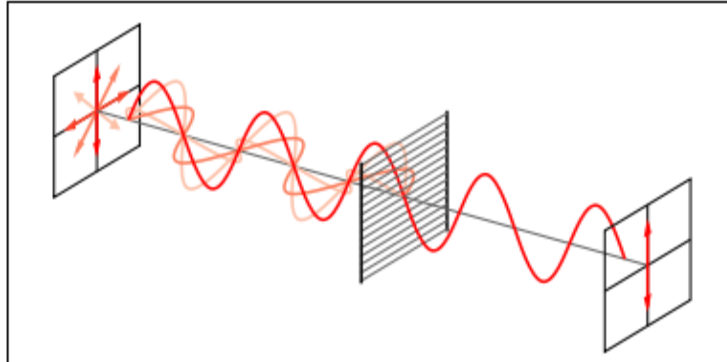
**Figura 34:** Dirección de propagación



**Fuente:** Burbano S., Burbano E., Gracia C. Física General

Otro fenómeno de la luz fácilmente identificable con su naturaleza ondulatoria es la polarización. La luz no polarizada está compuesta por ondas que vibran en todos los ángulos, al llegar a un medio polarizador, sólo las ondas que vibran en un ángulo determinado consiguen atravesar el medio, al poner otro polarizador a continuación, si el ángulo que deja pasar el medio coincide con el ángulo de vibración de la onda, la luz pasará íntegra, sino sólo una parte pasará hasta llegar a un ángulo de 90° entre los dos polarizadores, donde no pasará nada de luz.

**Figura 35:** Vibración de Onda



**Fuente:** Burbano S., Burbano E., Gracia C. Física General

Este efecto, además, permite demostrar el carácter transversal de la luz (sus ondas vibran en dirección perpendicular a la dirección de propagación).

El efecto Faraday y el cálculo de la velocidad de la luz,  $c$ , a partir de constantes eléctricas (permitividad,  $\epsilon_0$ ) y magnéticas (permeabilidad,  $\mu_0$ ) por parte de la teoría de Maxwell:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Confirman que las ondas de las que está compuesta la luz son de naturaleza electromagnética. Esta teoría fue capaz, también, de eliminar la principal objeción a la teoría ondulatoria de la luz, que era encontrar la manera de que las ondas se trasladasen sin un medio material.

El análisis de la luz conlleva a la interpretación del siguiente conjunto de fenómenos ondulatorios. [9]

### 2.3.6.2. TEORÍA DE COLORES

La luz blanca, es la integración de los colores primarios que son aquellos que no pueden obtenerse mediante la mezcla de otros, estos son rojo, verde y azul (RGB), a partir de ello se catalogan los colores secundarios, intermedios, cuaternarios, fríos y cálidos, cuya característica, se notan a continuación:

➤ **Colores secundarios:**

Son los que se obtienen mezclando dos colores primarios al 50%, obteniendo verde (S) y naranja o naranjado (S).

➤ **Colores intermedios:**

Mezclando un primario y un secundario se obtienen los llamados colores intermedios (I), que como su nombre lo indica están “entre medio” de un color primario (P) y un secundario (S) o viceversa, otra característica de estos colores es que se denominan con los colores que intervienen en su composición, primero citando el color primario y a continuación el secundario: amarillo-verdoso, rojo-naranjado, azul-verdoso, azul-violeta, rojo-violeta y amarillo-naranjado.

➤ **Colores terciarios:**

Los tonos terciarios se consiguen al mezclar partes iguales de un primario (P) y de un secundario (S) adyacente amarillo terciario (verde + naranja), rojo terciario (naranja + violeta) y azul terciario (verde + violeta). Los colores terciarios son los más abundantes en la naturaleza y por lo tanto los más usados en la pintura ya que por ellos brillan los más exaltados y cobran vida los de intensidad media.

**Figura 36:** Distribución de colores



**Fuente:** <http://www.xtec.es/~aromero8/acuarelas/primarios.htm>



➤ **Colores cuaternarios:**

Son los que se obtienen mediante la mezcla de los terciarios entre sí: rojo terciario + amarillo terciario da un naranja neutralizado, amarillo terciario + azul terciario da un verde muy neutro (verde oliva).

➤ **Colores fríos y cálidos:**

Se les denominan colores fríos a todos los que participan o en su composición interviene el azul y cálidos, a todos aquellos que participan del rojo o del amarillo. Los colores cálidos (rojo amarillo y anaranjado), los asociamos a la luz solar, al fuego y de ahí su calificación calientes. Los colores fríos son aquellos asociados con el agua, el hielo y la luna. Estas cualidades que se le atribuyen a los colores es lo que se ha denominado "Temperatura del color".

Físicamente la percepción de un color o de otro se debe a su longitud de onda y gracias a esto cuando la luz blanca o visible atraviesa un prisma de cristal, es decir se refracta se separa en diferentes longitudes de onda, los cuales gracias a la fisiología de la visión se procesa de esta manera: [10]

Dentro del escenario del organismo cibernético es necesario interpretar el proceso de transformación del espacio de color [11].

La homologación de proceso realizado por el ojo es efectuada por los sensores fotoeléctricos, que como dispositivos electrónicos responden al cambio de intensidad de la luz, genéricamente se encuentran los siguientes tipos de sensores: fotorresistencias, fotodiodos, fototransistores, CCD Y CMOS, este último es el más importante por ser un APS (active pixel sensor), cuya estructura está relacionada con el número de píxeles, que se enmarca como fotositos para producir corriente eléctrica que varían en relación a la intensidad de la luz recibida, se caracterizan por:

La retina del ojo humano hay dos tipos de "células" diferentes llamadas bastones y conos.

Los bastones y conos del órgano de la vista están organizados en grupos de tres elementos sensibles, cada uno de ellos destinado a cada color primario del espectro: azul, verde y rojo, del mismo modo que una pantalla de televisión en color.

Cuando vemos rojo es porque se ha excitado el elemento sensible a esta longitud de onda. Cuando vemos amarillo es porque se excitan a un tiempo verde y el rojo, y cuando vemos azul celeste (CYAN), es que están funcionando simultáneamente el verde y el azul (azul violeta).

A esta capacidad de percepción de los colores contribuye, además, el que todos los cuerpos están constituidos por sustancias que absorben y reflejan las ondas electromagnéticas; es decir, absorben y reflejan colores.

Decimos que un objeto tiene un color cuando, con preferencia, refleja o transmite las radiaciones correspondientes a tal color.

Cuando un cuerpo se ve blanco es porque recibe todos los colores básicos del espectro (rojo, verde y azul) y los devuelve reflejados, generándose así la mezcla de los tres colores, el blanco, si el objeto se ve negro es porque absorbe todas las radiaciones electromagnéticas (todos los colores) y no refleja ninguno.

En este punto resulta importante diferenciar la percepción de un color por emisión de luz, por reflexión de la misma en un cuerpo o por transparencia. Como ya vimos, los colores de las cosas que vemos mediante la luz reflejada dependen del tipo de luz que cae sobre ellas, pero también depende de la naturaleza de sus superficies; o sea, del tipo de pigmento que las cubra, los pigmentos son compuestos que absorben la luz de unos colores particulares (según su longitud de onda) con especial eficiencia.

Trasladando la teoría tricromática del color luz al campo práctico podemos decir que existen tres pigmentos (colores, tintes o pinturas), denominados básicos o primarios, que no pueden ser obtenidos mediante mezclas y a partir de los cuáles se generan todos los demás colores. Estos colores básicos son: amarillo, rojo y azul. [10]

## Capítulo 3

### 3. INGENIERIA DEL PROYECTO

#### 3.1. PROCESO DE SEÑALES

Las investigaciones realizadas en torno al cerebro, en el entorno de las neuroimágenes, han permitido filmar su estado cuando se aprende, se enamora, se decide o cuando es excitado por la ira [11], pero también han consolidado el proceso de regeneración neuronal y el establecimiento de nuevas conexiones, fortaleciendo el argumento que tanto la razón y la emoción es la que en verdad hace al hombre y a la mujer, ser verdaderamente humanos<sup>1</sup>, es en este punto donde urge valorar el proceso de señales al generarse agentes especiales, como la epinefrina, el cortisol y la glucosa.

El ser humano, es un verdadero reloj biológico [12], pues en el hipotálamo existen extensiones que sincronizan nuestro organismo, hecho que se señala que en las tardes los búhos o vespertinos (población joven), salen de la casa, mira televisión, chatea o gustan de bailes, mientras que las alondras (adultos mayores), son muy madrugadores, el proceso de señales involucra la expertitud en la sincronización de la acción.

Para entender formalmente el proceso de señales químicas y eléctricas, se requiere entonces comprender como funciona entonces el circuito oscilador en el campo de la electrónica, para entonces valorar en andamiaje funcional de los ritmos eléctricos del cerebro.

##### 3.1.1. EL CIRCUITO OSCILADOR.

El oscilador constante de pulsos, formado por circuitos de inductancia – capacitancia, que incorpora la generación de diferentes frecuencias para atender así actividades u operaciones diferentes, por ejemplo para el temporizador de reloj 8253 [13], este divide la señal en tres canales a saber:

- Canal cero: temporizador del disco.
- Canal uno: refresco de la RAM.
- Canal dos: producción de sonido y generación de números aleatorios.

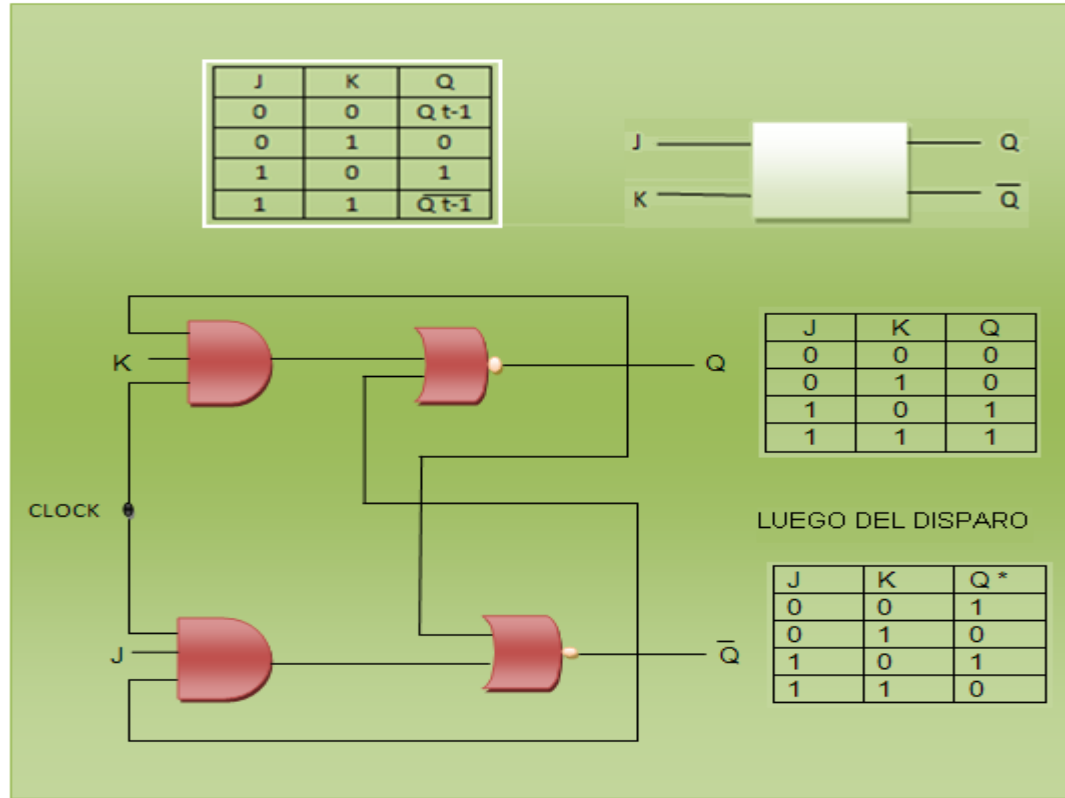
La acción del oscilador en cualquier dispositivo electrónico, salta a la vista al observar por ejemplo el funcionamiento del convencional flip-flop JK, el cual se muestra en la figura 36, con la valoración anterior al disparo y posterior al disparo.

---

<sup>1</sup> Claudio Waisbirg. Instituto De Neurociencias De La Universidad De Flavaloro

<sup>2</sup> Guyton and hall. Tratado de fisiología médica. Editorial Elsevier

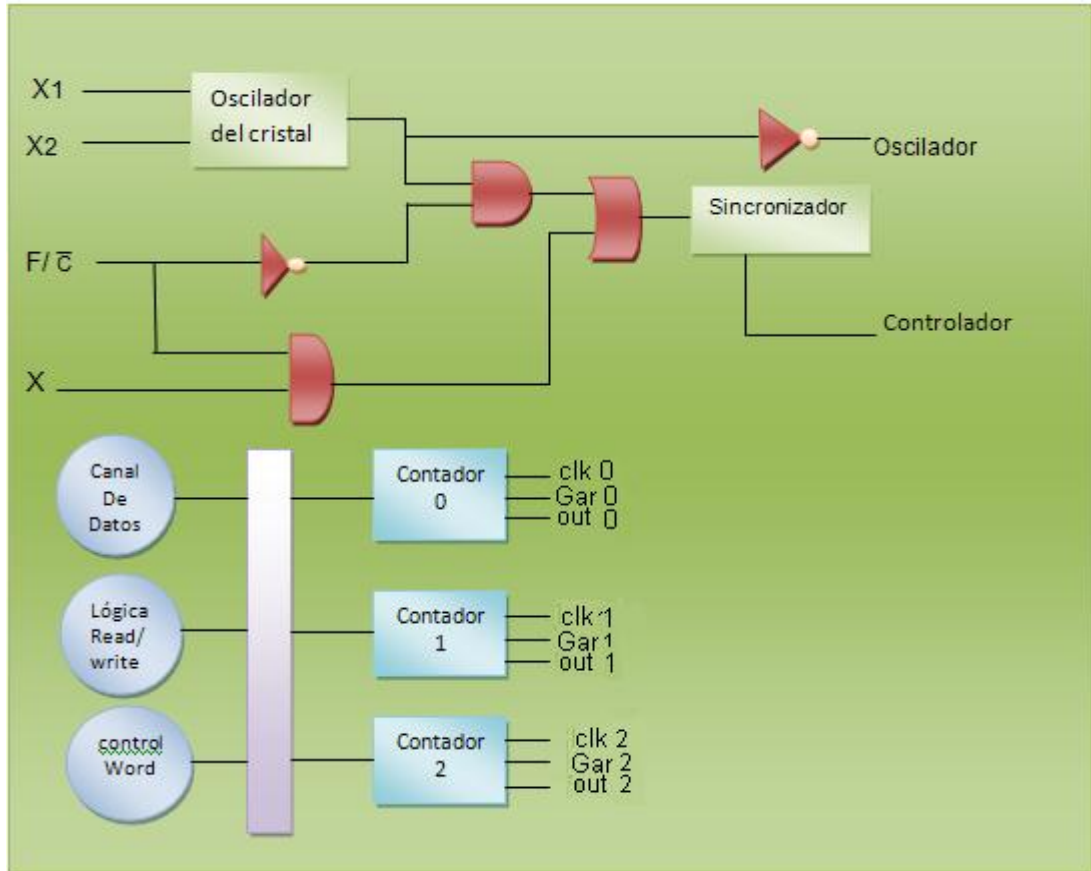
**Figura 37:** funcionalidad del flip-flop JK



**Fuente:** aporte realizadores

El reloj convencional más simple es el 8284<sup>a</sup> cuya estructura es observada en la figura 37 y la analogía directa con el hipotálamo, lo ofrece el 8254, temporizador que procesa una entrada de reloj, una entrada lógica y una conexión de salida, y su analogía directa es la propiedad de controlar eventos en tiempo real, algo semejante a cuando el ser humano escucha una llamada, contesta a alguien y piensa en otra cosa.

**Figura 38:** estructura 8284/8254



**Fuente:** Intel Corporation. Architecture Board I Core

El funcionamiento del temporizador o del circuito oscilador se observa fácilmente al ejecutar el programa java, que se muestra en el anexo 1, el cual referencia la ejecución simultánea de dos actividades, el control del reloj y el mapeo del color; algo igual ocurre internamente en el cerebro, por ejemplo:

- Recepción de señal
  - Pie terminal presináptico
    - Tirosina
    - L-dopa
    - Dopamina
  - Inhibidor
    - Clorpromacina
  - Activador
    - Apomorfina
  - Receptor
    - Adenilciclase
  - Neurona receptora
    - Atp

- Amp cíclico
- Proceso área de broca
  - Limitante orgánico
  - Cortex motor: músculos, lengua, mandíbula y garganta
  - Falencia
    - No se puede hablar bien
    - Pero si se canta muy bien

### 3.1.2. SEÑALES QUIMICAS

Referenciar el termino señal, implica en el contexto del trabajo, aludir a la sinapsis, para este caso, la primera neurona genera un producto químico o neurotransmisor que activa a nivel de la terminación nerviosa, ejemplos de estas sustancias son: el glutamato, la serotonina, la glicina, la seticolina, la Histamina y el ácido y-aminobutírico (GABA) y otras 33 sustancias más [11].

Las sinapsis químicas, se caracterizan por transmitir y conducir señales en un solo sentido, es decir construye el dialogo entre la neurona presinaptica y la neurona postsinaptica, permitiendo así localizar puntos específicos tanto en el sistema nervioso como en los terminales periféricos, operación que computacionalmente puede homologarse al control de la BIOS con el catálogo de interrupciones y subconjunto de servicios, descripción que se presentara más adelante como base de ejemplificación del soma, el axón y las dendritas.

El proceso de señalización química, involucra:

- Vesículas transmisoras
- Mitocondrias
- Terminal presináptico
- Hendidura sináptica
- Proteínas receptoras
- Canales de calcio dependientes de voltaje
- Activadores de encimas
- Activador de segundos mensajeros
- Canales iónicos
  - Canales catiónicos
  - Canales aviónicas
- Transmisores
  - Excitadores
  - Inhibidores

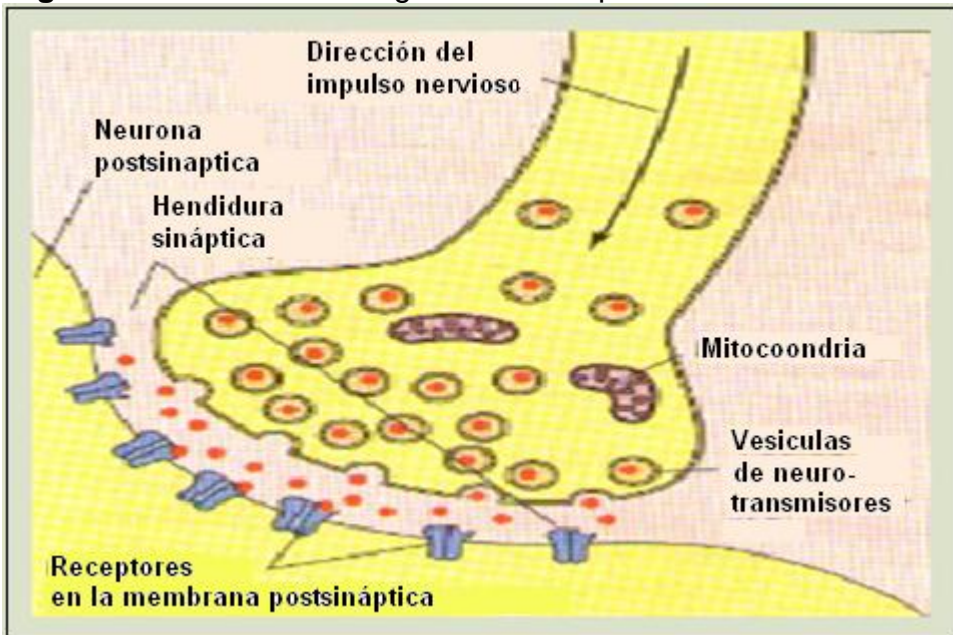
Para comprender este escenario descriptivo, es necesario entender la autonomía fisiológica le la sinapsis (figura 39) y comportamiento estructural de las sustancias transmisoras como segundos mensajeros (figura 40).

La neurona postsináptica esquematiza el sistema de segundo mensajero, uno de ellos está enmarcado por la llamada proteína G, que consta de tres elementos a saber:

- Componente  $\alpha$ : o porción activadora
- Componente  $\beta$ : impulsadores
- Componente  $\gamma$ : operacionales

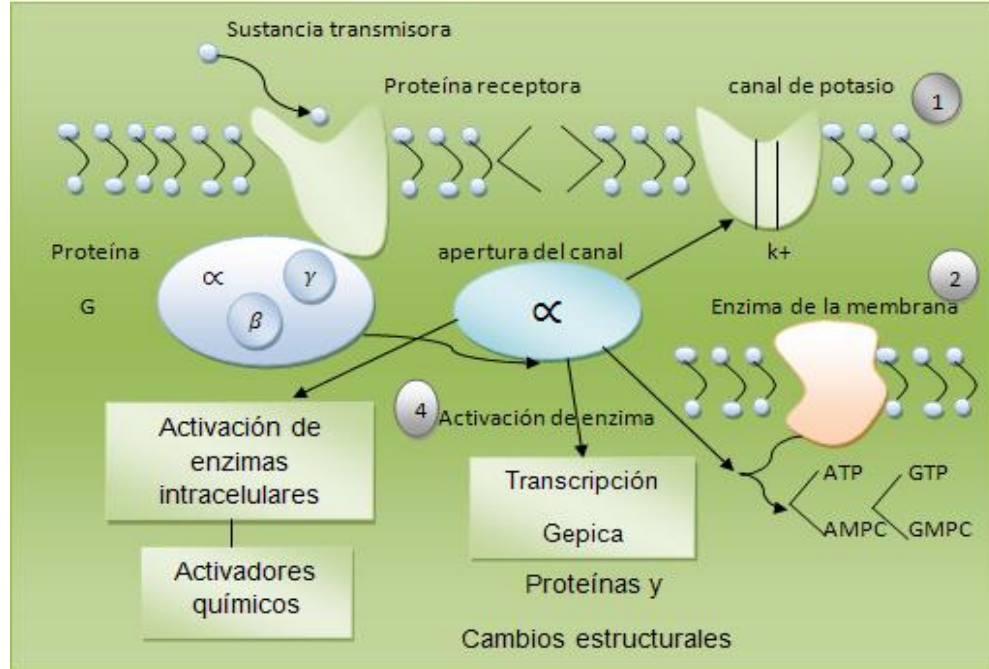
Y cuya operación se desarrolla al nivel del citoplasma produciendo los siguientes cambios:

**Figura 39:** anatomía fisiológica de la sinapsis



**Fuente:** Guyton and Hall. Textbook of medical physiology

**Figura 40:** Sistema de segundos mensajeros



**Fuente:** Guyton and Hall. Textbook of medical physiology

1. Apertura de canales iónicos específicos a través de la membrana celular postsináptica.
2. Activación del monofosfato de adenosina cíclico (AMPC) o del monofosfato de guanocina cíclica (GMPC).
3. Activación de enzimas intracelulares.
4. Activación de la transcripción génica.

Operaciones que asemejan electrónicamente el funcionamiento de un temporizador tal como el 8254-2, cuya palabra de control posee 8 bits y señalan:

Bit 7: seleccionador del contador

- 00=contador cero
- 01=contador uno
- 10=contador dos
- 11=comando de retrolectura

Bit 6: SCO

Bit 5: RW1 – controlador de lectura y de escritura

Bit 4: RW2 – controlador de lectura y de escritura

- 00=captura evento
- 01=lectura/escritura LSB
- 10=lectura/escritura MSB
- 11=LEE (LSB)(MSB)



Bit 3: MC2 – seleccionadores de modo  
 Bit 2: MC1 – seleccionadores de modo  
 Bit 1: MC0 – seleccionadores de modo  
 Bit 0: controlador de código

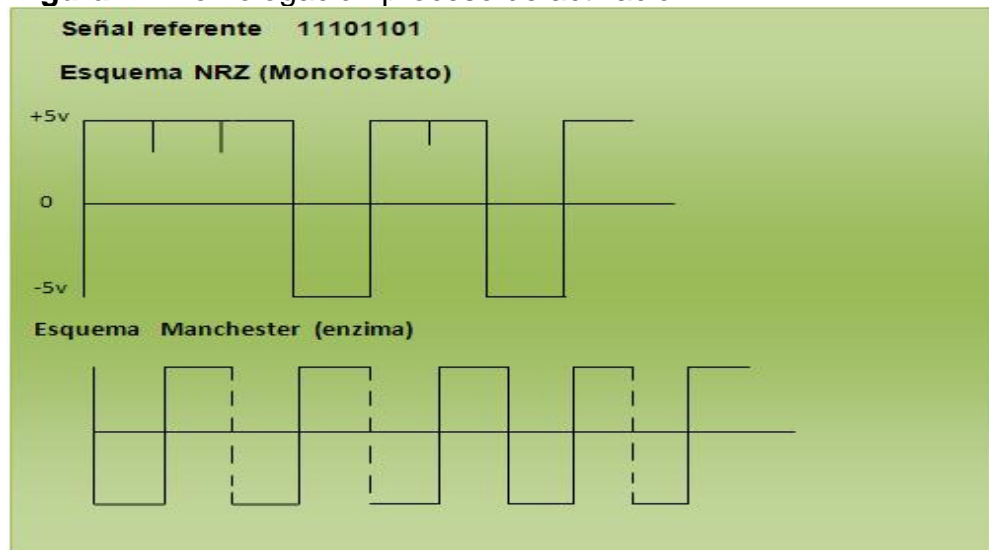
La activación de los monofosfatos y las enzimas se validan con los modos de funcionamiento del 8254-2, a saber:

- Modo cero: contador de eventos
- Modo uno: multivibrador monoestable
- Modo dos: generador de pulsos
- Modo tres: generación de onda cuadrada
- Modo cuatro: producción de un solo pulso
- Modo cinco: multivibrador monoestable

Operación y funcionalidad, que se trasluce o simboliza por la codificación bipolar NR2 para los monofosfato y la codificación manchester para las enzimas, tal como se observa en la figura (41).

La membrana postsinaptica se excita o inhibe por acción de los siguientes mecanismos cuya distribución probabilística es de carácter uniforme hecho que implica, su especificación matemática como se presenta aquí:

**Figura 41:** homologación proceso de activación



**Fuente:** aporte realizadores

- $F\mu(x; a, b) = \frac{1}{b-a} \quad a \leq x \leq b$
- $Fu(x; a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases}$

$$\begin{aligned} \text{➤ } \mu\mu(a, b) &= \frac{b+a}{2} \\ \text{➤ } V\mu(a, b) &= \frac{(b-a)^2}{12} \\ \text{➤ } L\mu(s; a, b) &= \frac{e^{-sa} - e^{-sb}}{s(b-a)} \end{aligned}$$

La señalización de los tres componentes de la proteína G ( $\alpha, \beta, \gamma$ ), como activadores del impulso, pueden situarse en el espectro de la distribución gamma, su especificación es:

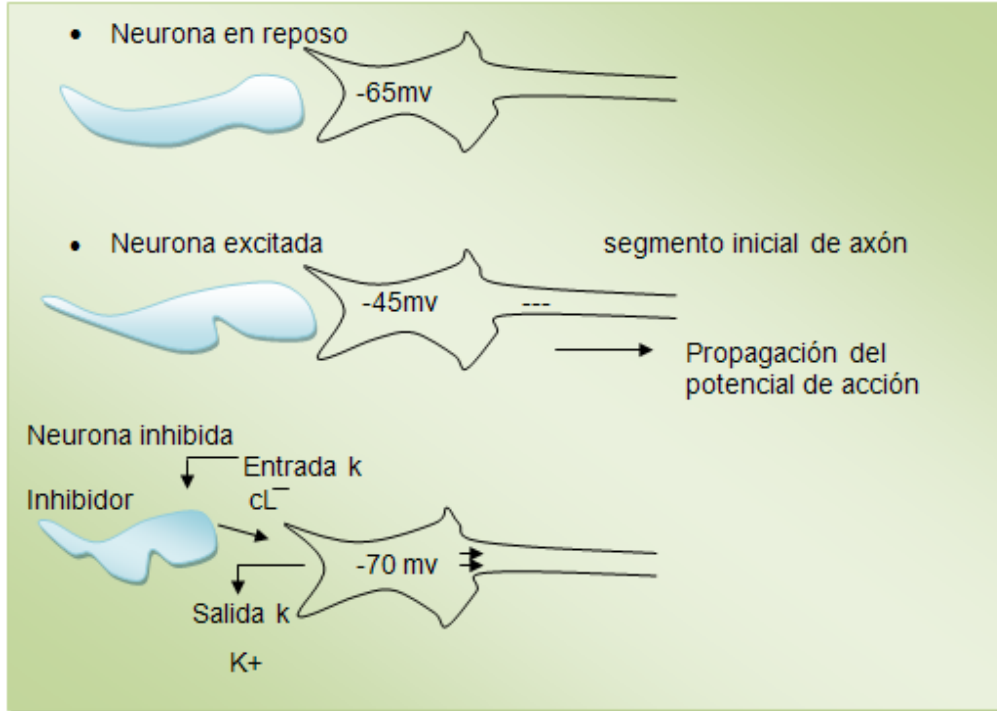
$$\begin{aligned} \text{➤ } Y\gamma(x; k, a) &= \frac{a^k}{\Gamma(k)} x^{k-1} e^{-ax} \quad x \geq 0 \\ \text{➤ } \Gamma(n) &= \int_0^\infty t^{n-1} e^{-t} dt \quad n > 0 \\ \text{➤ } \Gamma(n) &= (n-1)! \\ \int_0^\infty \frac{a^k}{\Gamma(k)} x^{k-1} e^{-ax} dx &= \frac{1}{\Gamma(k)} \int_0^\infty (ax)^{k-1} e^{-ax} d(ax) = \frac{1}{\Gamma(k)} \int_0^\infty t^{k-1} e^{-t} dt = 1 \\ \text{➤ } \mu\Gamma(k, a) &= \frac{k}{a} \\ \text{➤ } V\Gamma(k, a) &= \frac{k}{a^2} \\ \text{➤ } L\Gamma(s; k, a) &= \left(\frac{a}{a+s}\right)^k \end{aligned}$$

Los factores generados son entonces:

- Excitación
  - Apertura de canales de sodio para dejar pasar grandes cantidades de cargas electrónicas positivas
  - Depresión de la condición mediante los canales de cloro y de potasio
  - Diversos cambios en el metabolismo interno de la neurona postsináptica
- Inhibición
  - Activación enzima receptora
  - Aumento de conductancia para iones de potasio
  - Apertura de los canales del ion de cloro en la membrana

En el anexo 2, se presenta el programa que simula el proceso de excitación e inhibición en la membrana postsináptica, mediante la señalización de los tres estados de la neurona, mostrados en la figura 42.

**Figura 42:** estado bipolar de la neurona



**Fuente:** Guyton and Hall. Textbook of medical physiology

El proceso referenciado a nivel de excitación e inhibición, se mapea funcionalmente en el PC con ayuda de la tecla Win[12], de esta manera:

- Inhibición
  - (Win)+(Tab): cambio entre aplicación
  - (Win)+(pausa): propiedades de sistema
  - (Win)+(r): ejecución de programa
- Exhibición
  - (Win): activar menú de inicio
  - (Win)+(e): explorador
  - (Win)+(Control)+(f): busca ordenadores
  - (Win)+(mayus)+(m): abrir ventanas minimizadas

Esto, obviamente se logra gracias a los códigos de exploración (SCANCODE), que fueron base para el programa mostrado como anexo 3.

### 3.1.3. SEÑALES ELECTRONICAS

En 1924, el psiquiatra alemán HANS BERGER [13], demostró que era posible registrar la actividad eléctrica del cerebro, fue así como se verificó la presencia del ritmo  $\alpha$  (9-10 hertz), del ritmo ( $\mu$ ) y del ritmo ( $\beta$ ), pudiéndose así obtener el

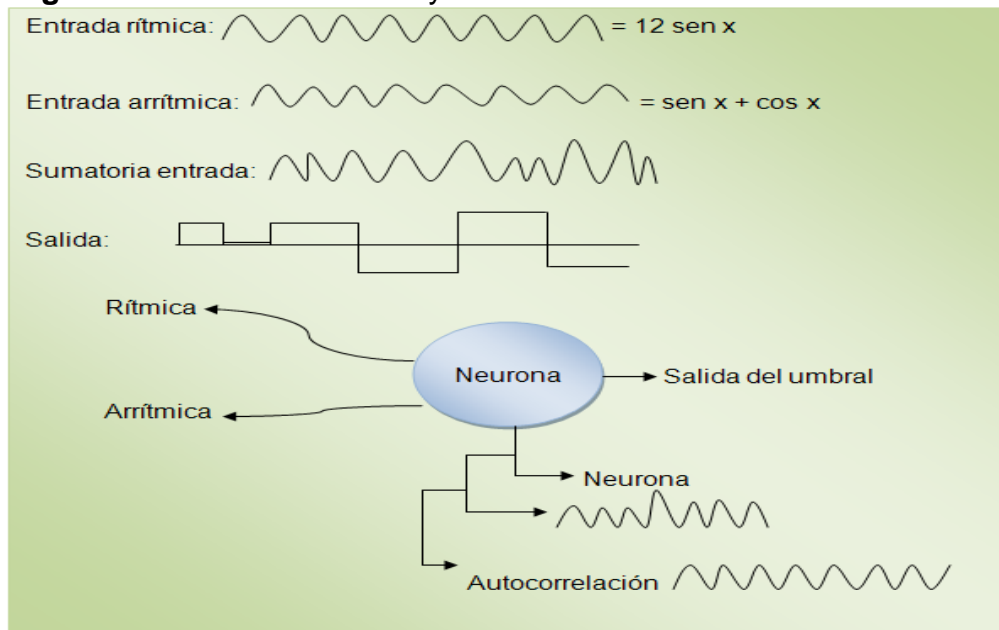
proceso que señala la figura 43, que ilustra la sumatoria arrítmica y rítmica de señales eectoras.

Pudiéndose comprobar como el cerebro hace un todo con las partes al elaborar respuestas a partir de la integración neuronal con los sistemas complejos, en los que se verifica la integración como propiedad fundamental de acción y correlación tal como se señala a continuación:

- Corteza cerebral
- Entorrinal
- Formación reticulada
- Sistema septo hipocampico
- Centros segmentarios

Cuyo mapeo selectivo relaciona como segmentos superiores a la corteza y a la entorrinal, como segmentos medios a la formación reticulada y al sistema hipocampico y como segmento inferior los conectores a los centros segmentarios. Luego de la especificación matemática que se presentara, se mostrara el formalismo operacional y funcional de la sinapsis eléctrica, categorizando su unicidad sistémica en todos los componentes del cuerpo humano, tales como la visión, el oído, el corazón y la piel. (Figura 43).

**Figura 43:** sumatoria rítmica y arrítmica



**Fuente:** Guyton and Hall. Textbook of medical physiology

Matemáticamente, se puede sustentar el proceso rítmico y arrítmico, mediante la evaluación probabilística de dos funciones, cuyo comportamiento se define por:

$$\begin{aligned}
\mu(\bar{x}, \bar{y}) &= |\bar{x} - \bar{y}| \\
\varepsilon |\bar{x} - \bar{y}| &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |\bar{x} - \bar{y}| f_{xy}(x, y) dx dy \\
f_{xy}(x, y) &= f_x(x) f_y(y) \\
&= ab e^{-ax} e^{-by} \quad x, y \geq 0 \\
\varepsilon |\bar{x} - \bar{y}| &= ab \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} |\bar{x} - \bar{y}| e^{-ax} e^{-by} dx dy \\
&= ab \int_0^{\infty} e^{-by} \int_0^y (y - x) e^{-ax} dx dy + ab \int_0^{\infty} e^{-by} \int_y^{\infty} (y - x) e^{-ax} dx dy \\
&= \frac{a^2 + b^2}{ab(a+b)}
\end{aligned}$$

a, b son parámetros de una función exponencial.

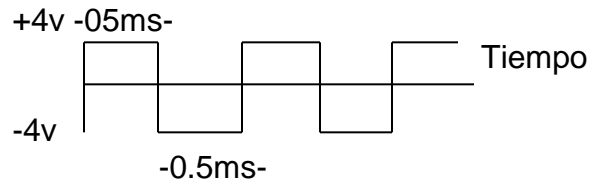
La sinapsis eléctrica por ende, se caracterizan por la presencia de unos canales fluidos abiertos que conducen electricidad de una célula a la siguiente, la gran mayoría, consta de pequeñas estructuras proteicas tubulares llamadas uniones en hendidura que permite el movimiento libre de los iones cuyo funcionamiento constituye el eje referencial del producto a liberar por este trabajo a partir del análisis del impulso en fibras musculares como base de la operación del movimiento.

La interpretación del fenómeno eléctrico durante la inhibición neuronal conlleva el conocimiento e interpretación de:

- Apertura de los canales del cloruro y activación del potencial de Nernst para estos iones (-70 mV).
- Aperturas de canales de potasio para elevar el grado de negatividad intracelular o hiperpolarización.
- Alcancel del PPSI o potencial postsináptico inhibitorio.
- Transporte de corrientes electrónicas desde las dendritas al soma para la estimulación o inhibición, produciendo así la conducción decreciente.
- Producción del retraso sináptico por la acción lógica secuencial de:
  - Emisión sustancia transmisora por el terminal presináptico.
  - Difusión de transmisor hacia la membrana neuronal postsináptica.
  - Acción del transmisor sobre el receptor de la membrana.
  - Aumento de la permeabilidad de la membrana.
  - Entrada al sodio por difusión para elevar el potencial postsináptico.

Este referente fisiológico, puede entonces fácilmente ser tomado y presentado por el análisis de Fourier, al asimilar la apertura de los canales de cloruro y de potasio, como un proceso de onda cuadrada con frecuencia y voltaje predeterminado y luego evaluar sus parámetros funcionales tal como se explica seguidamente [14].

- Forma de onda



- $V(t) = V_0 + \frac{4v}{\pi} \left[ \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{9} \sin 9\omega t + \dots \right]$

- Voltaje pico de cada armónica

$$V_n = \frac{4v}{n\pi} \quad n = \text{impar: } 1, 3, 5, 7, 9$$

- Frecuencia de armónica

$$F = \frac{1}{T}$$

- Rango de variación de tiempo

$$T_i = 0 \text{ } \mu s$$

$$T_f = 1000 \text{ } \mu s$$

- Puntos de análisis en  $\mu s$  (microsegundos)

0

125

375

500

562.5

625

875

1000

Desarrollando el proceso matemático, se tiene:

- Voltajes y frecuencias (ver tabla 3)

**Tabla 3:** Resultados en hertz y voltios

Armónica	Frecuencia	Voltaje
1	1000	5.09
3	3000	1.69
5	5000	1.02
7	7000	0.73
9	9000	0.57

- Expansión de la serie de Fourier

$$V(t) = 5.09\text{sen}[2\pi 1000t] + 1.69\text{sen}[2\pi 3000t] + 1.02\text{sen}[2\pi 5000t] + 0.73\text{sn}[2\pi 7000t]$$

- Cálculos de voltajes para tiempo en  $\mu\text{s}$  para esto se reemplaza  $t$  por 0, 125, 375, 500, 562.5, 625, 875 y 1000, se tiene que  $v(0)=0$

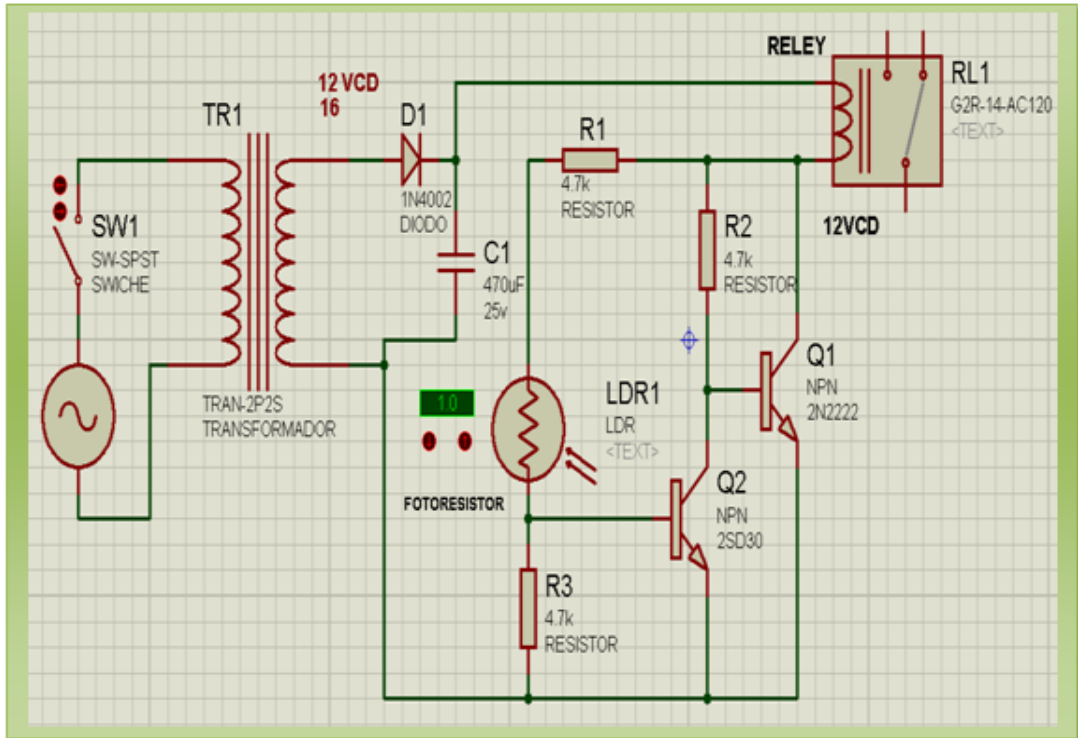
- $V(125)=3.96$
- $V(375)=3.96$
- $V(500)=0$
- $V(562,5)=-4.51$
- $V(625)=-3.96$
- $V(875)=-3.96$
- $V(1000)=0$

Los estados que se señalaron en la figura 43, se interpretó así:

- Neurona en reposo: voltaje=0, se representa para  $v(t)=0$ ,  $v(t)=500$ ,  $v(t)=1000$
- Neurona como excitada: voltajes positivos, que se generan para  $v(t)=125$  y  $v(t)=375$
- Neurona inhibida: voltajes negativos, encontradas para  $v(t)=562.5$ ,  $v(t)=625$  y  $v(t)=875$

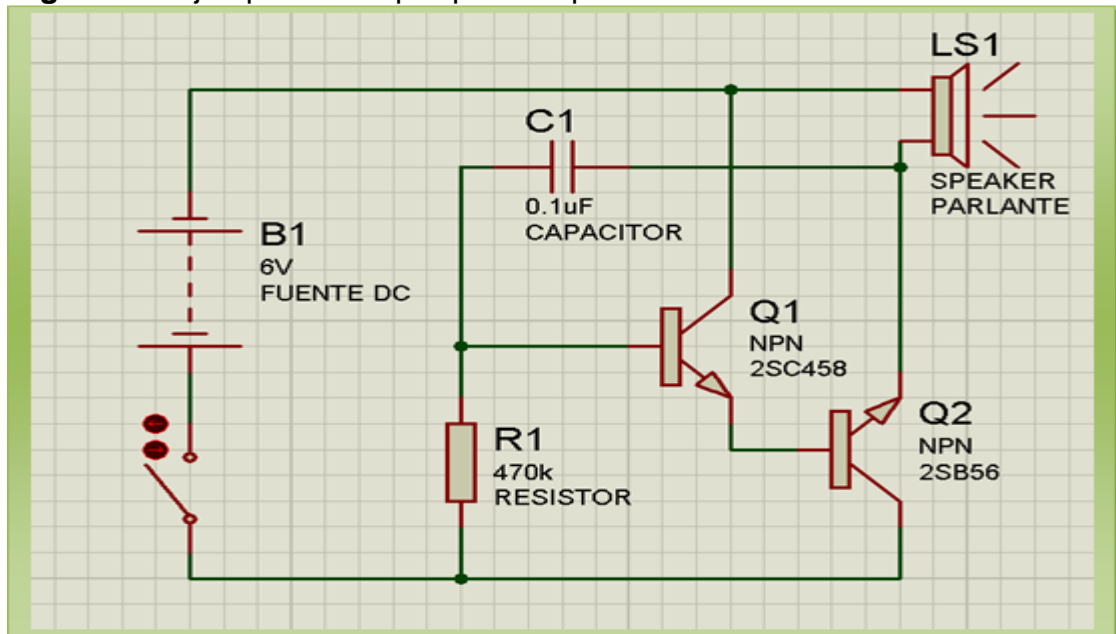
Se precisa ahora ilustrar la operación de las señales estudiadas mediante la construcción de dos circuitos, el primero homologa el paso de inhibición a excitación, para ello se aplica la propiedad fotoeléctrica de algunas sustancias (ver figura 44), por ejemplo con un haz de luz se puede variar la resistencia eléctrica por acción de un divisor de voltaje dependiente de luz y el segundo que ejemplifica la acción presináptica y postsináptica mediante un generador de tono (ver figura 45).

**Figura 44:** Circuito homologador E-I



**Fuente:** Mejía Aurelio. Revista Electrónica Fácil N°3

**Figura 45:** Ejemplificación pre-postsinaptica



**Fuente:** Mejía Aurelio. Revista Electrónica Fácil N°3



### **3.2. CONTROL DEL MOVIMIENTO**

Evaluar los principales mecanismos homeostáticos de los principales sistemas funcionales y comprenden la fisiología de la membrana, el nervio y el músculo, implica el analizar el transporte, los potenciales de acción, la contracción del musculo esquelético, la transmisión neuromuscular y la excitación del músculo, para así entonces poder integrar el núcleo o eje céntrico del trabajo para su posterior interpretación frente a la funcionalidad del computador por la analogía de las áreas especializadas del cerebro.

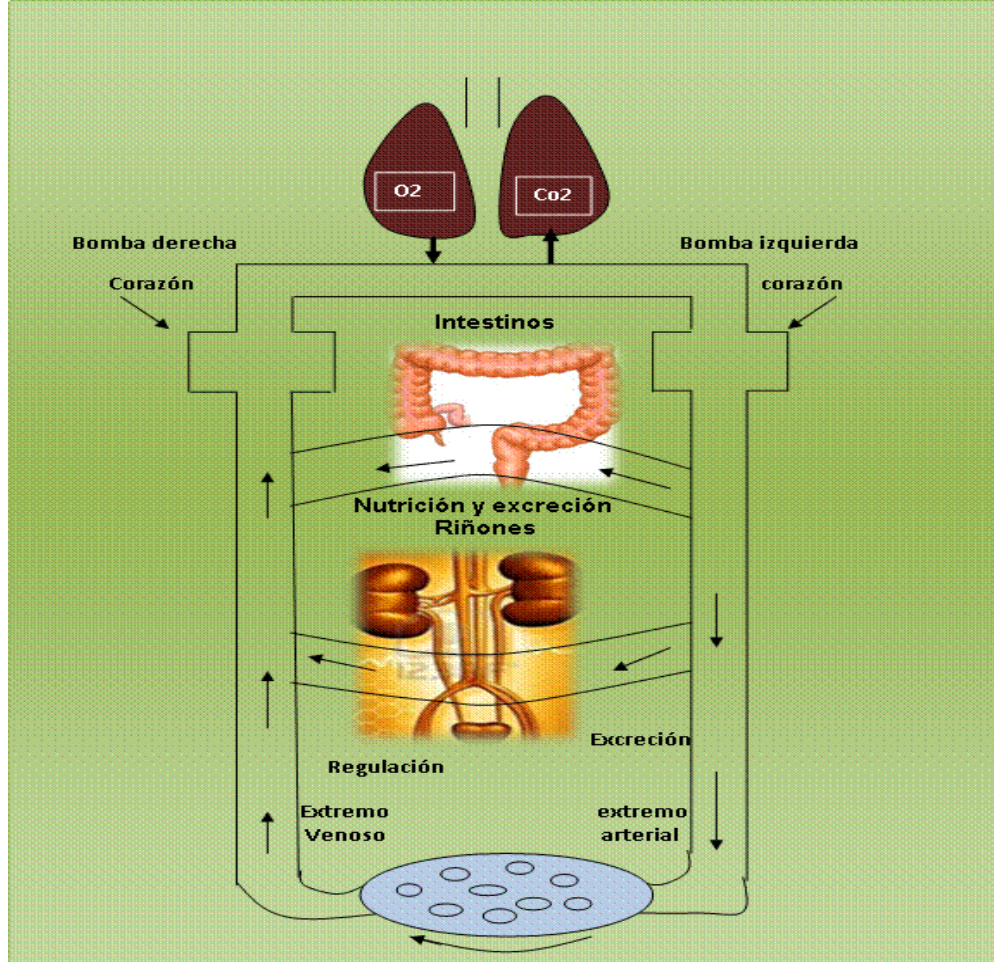
#### **3.2.1. MECANISMOS HOMEOSTÁTICOS**

En el enfoque de la teoría general de sistemas, la homeostasis es la propiedad que permite a todo sistema mantener gradientes constantes con el objetivo de no cambiar o modificar el estado del medio interno, anatómica y fisiológicamente, este concepto es el mismo [15], internamente se efectúan estas operaciones o mecanismos homeostáticos.

- Los pulmones aportan oxígeno al liquido extracelular para recuperar o mantener la célula.
- Los riñones mantienen constante las concentraciones iónicas y el aparato digestivo aporta los nutrientes.

Observando la figura 46, se puede comprender el mecanismo homeostático referenciado.

**Figura 46:** mecanismo homeostático: agentes



**Fuente:** Guyton Arthur and Hall John

El mecanismo homeostático, se estructura en cada componente del cuerpo humano, por ejemplo en los nutrientes de líquido extracelular, en la eliminación de los productos metabólicos y en el sistema de regulación hormonal, por su importancia, es preciso señalar a nivel de ejemplo:

- Aparato respiratorio
  - La sangre atraviesa el órgano y fluye por los pulmones para captar el oxígeno
  - El oxígeno penetra la membrana alveolar
  - El agua y los iones se difunden a través de los tejidos capilares
- Aparato circulatorio
  - La sangre que bombea el corazón, atraviesa las paredes del aparato digestivo

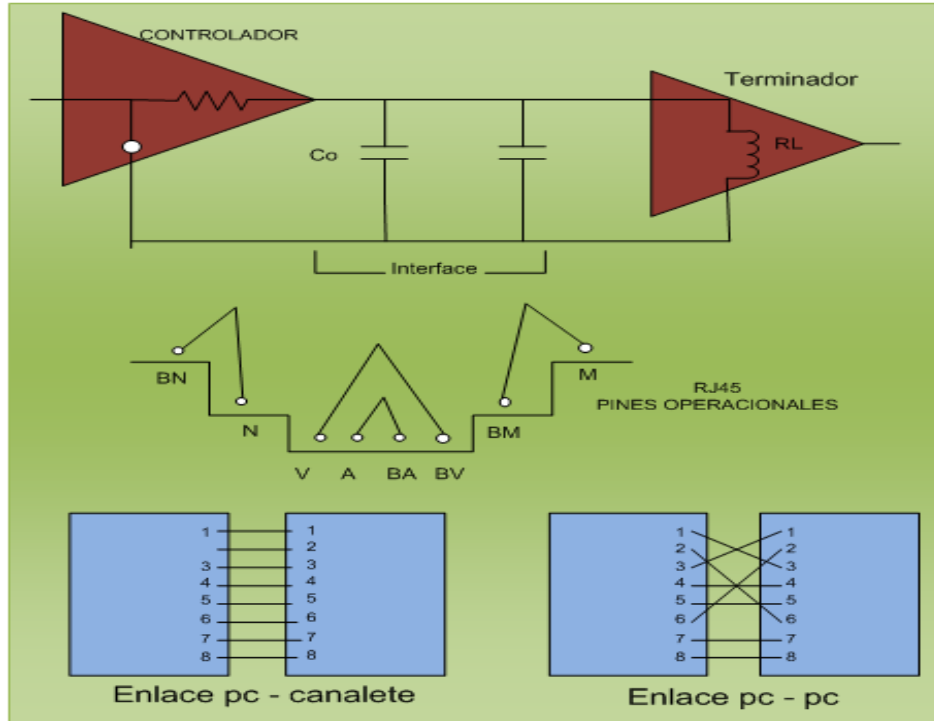
- El aparato digestivo absorbe los nutrientes, los hidratos de carbono, los ácidos grasos y aminoácidos.
- Aparato locomotor
  - Habilita movilidad y mantiene la homeostasis
  - Procesa señales que generan movimiento
  - Regula agentes exógenos e integra la asociatividad funcional.
- Sistema Nervioso

Los componentes básicos, a saber: la porción de aferencia sensitiva, la porción integradora o sistema nervioso central y la porción eferente motora, conectan homeostáticamente al cuerpo con el entorno, de la misma forma en comunicaciones lo hace una recomendación tal como la EIA232 o EIA/TIA568, (ver la figura 47), fisiológicamente operan así:

- Los receptores sensitivos detectan el estado del cuerpo y del entorno, por ejemplo los receptores de la piel señalizan cuando un objeto toca la piel en cualquier parte.
- Los ojos capturan la imagen visual y elaboran la señal correspondiente, el cerebro almacena la información y procesan la respuesta asociada.
- El sistema nervioso autónomo o neurovegetativo funciona a escala subconsciente y controla la bomba del corazón, los movimientos del aparato digestivo y la secreción de todas las glándulas.

Computacionalmente, el proceso homeostático se evaluó fácilmente con la implementación del control de colores o mediante el llamado autónomo de ejecución de funciones de red, tal como se ilustran con los programas java del anexo 4.

**Figura 47:** ejemplificación homeostática de interfaces



**Fuente:** Aporte Realizadores

➤ Sistema De Regulación Hormonal

La segregación de productos químicos llamados hormonas, permite el transporte de líquido extracelular a todo el cuerpo, por ejemplo:

- La hormona tiroidea aumenta la velocidad de todas las reacciones químicas, para facilitar el ritmo de la actividad corporal.
- La insulina controla el metabolismo de la glándula.
- Las hormonas adrenocorticales controlan el ion sodio, ion potasio y el metabolismo proteico.
- La hormona paratiroidea controla el calcio y el fosfato en el hueso.

Esta regulación, se presenta para analogía en el funcionamiento convencional de un sistema PCM (PULSE CODE MODULATION), en donde la señal analógica se prueba y se convierte a una longitud física, tal como se ilustra en la figura 48 o con el análisis funcional de un detector de picos que se hace en la figura 49.

➤ Sistema Reproductor

El espermatozoide y el ovulo son fisiológicamente las entidades evidenciadoras del mecanismo de homeostasis con mayor integridad, pues ellos determinan la continuidad de la vida, y con la cadena ADN determina el nuevo ser que forma [16]:

- 24.000 filamentos sonoros en el sistema del oído.
- 1.500 músculos, 200 huesos y 7.000 nervios sincronizados.
- 100.000 kilómetros de venas, arterias que llenan 2.000.000 de litros de sangre por año con 360.000.000 de latidos por año.
- 22.000.000 de células sanguíneas con átomos que oscilan 10.000.000 de veces por segundos.
- Todo esto de la misma forma como se operacionalizan la información en un algoritmo genético, para efectos de reproducción, cruce y mutación [17], un conjunto de cromosomas, se evalúa, se selecciona, se cruza y se hace la mutación para así obtener una nueva población, por ejemplo:

Cromosoma padre: 110101010111

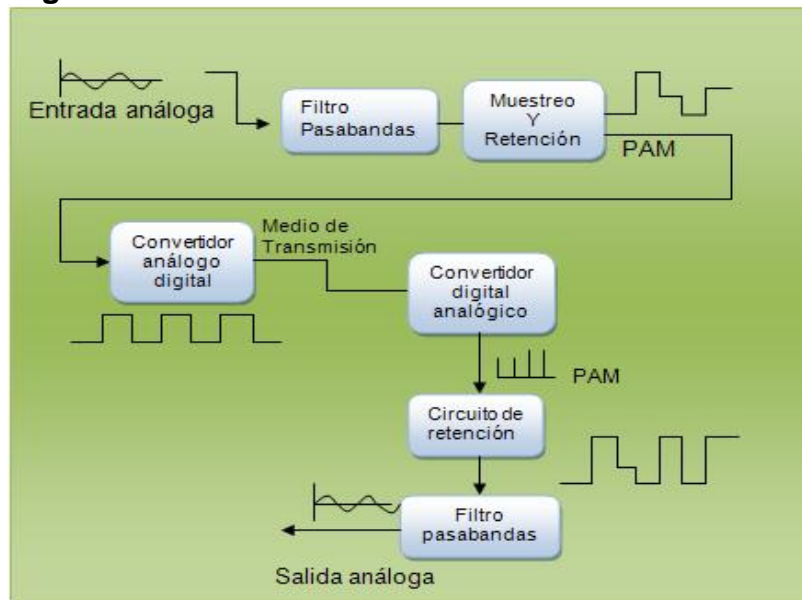
\*\*\* Operación \*\*\*

Cromosoma hijo: 11010111010011

Valor constante      Valor constante

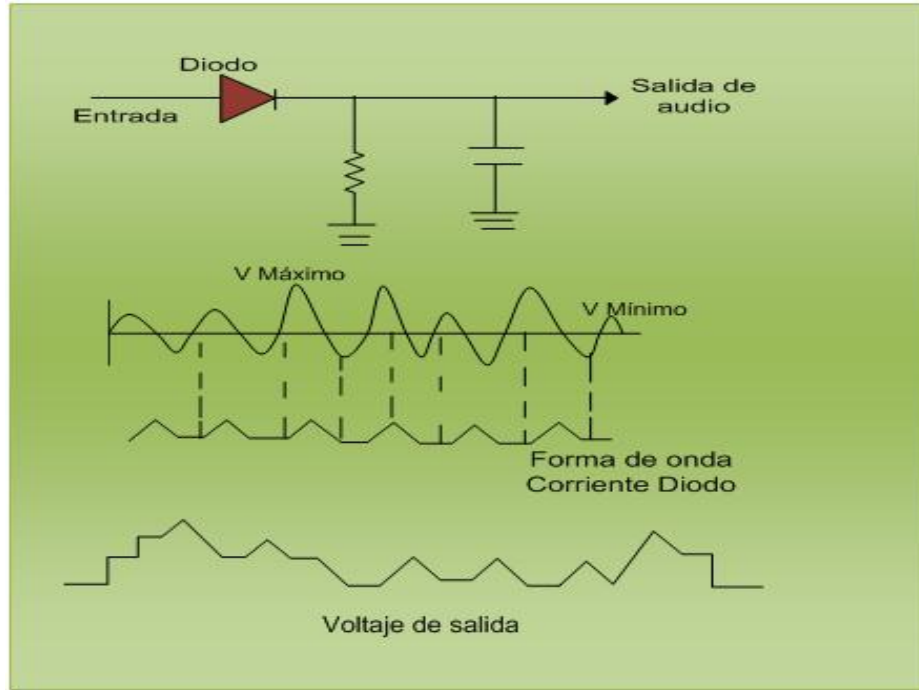
nutricion

**Figura 48:** estructura PCM



**Fuente:** Tomasi Wayne. Comunicaciones Electrónicas

**Figura 49:** detector de picos



**Fuente:** Tomasi Wayne. Comunicaciones electrónicas

### 3.2.2. SISTEMA DE CONTROL DEL ORGANISMO

El cuerpo humano contiene al decir del profesor Guyton<sup>2</sup>, niveles de sistema de control desde los más complejo de control genético, hasta aquellos de controlar las interrelaciones entre los órganos, tal como ocurre cuando el aparato respiratorio se asocia con el sistema nervioso para regular la concentración del dióxido de carbono, o el hígado se asocia al páncreas para regular la concentración de glucosa y los riñones regulan las concentraciones de hidrogeno, sodio, potasio y fosfato en el líquido extracelular; se ilustran seguidamente los ejemplos más representativos:

- Regulación de la concentración de oxígeno y dióxido de carbono.
- La hemoglobina presente en los eritrocitos se combina con el oxígeno cuando la sangre entra al pulmón.
- Se controla su liberación al atravesar los canales tisulares, función conocida como amortiguadora.
- Cuando hay concentración mayor de dióxido de carbono, se excita el centro respiratorio, haciendo que la persona respire más rápidamente.

Tal comportamiento equivale a observar el funcionamiento de un circuito eléctrico simple, cuya estructura matemática es:

<sup>2</sup> Guyton and hall. Tratado de fisiología médica. Editorial Elsevier

$$Vr = i.r \qquad i = c \frac{dv}{dt} VL = L \frac{di}{dt}$$

$$Vr + VL - V = 0 \qquad L \frac{di}{dt} + Ri = V$$

$$L \frac{di}{dt} + RL = V \text{sen} wt (\text{corriente alterna})$$

$$i = \frac{wvl}{R^2 + w^2L^2} e^{-(R/L)t} + \frac{v}{R^2 + w^2L^2} (R \text{sen} wt - wL \cos wt)$$

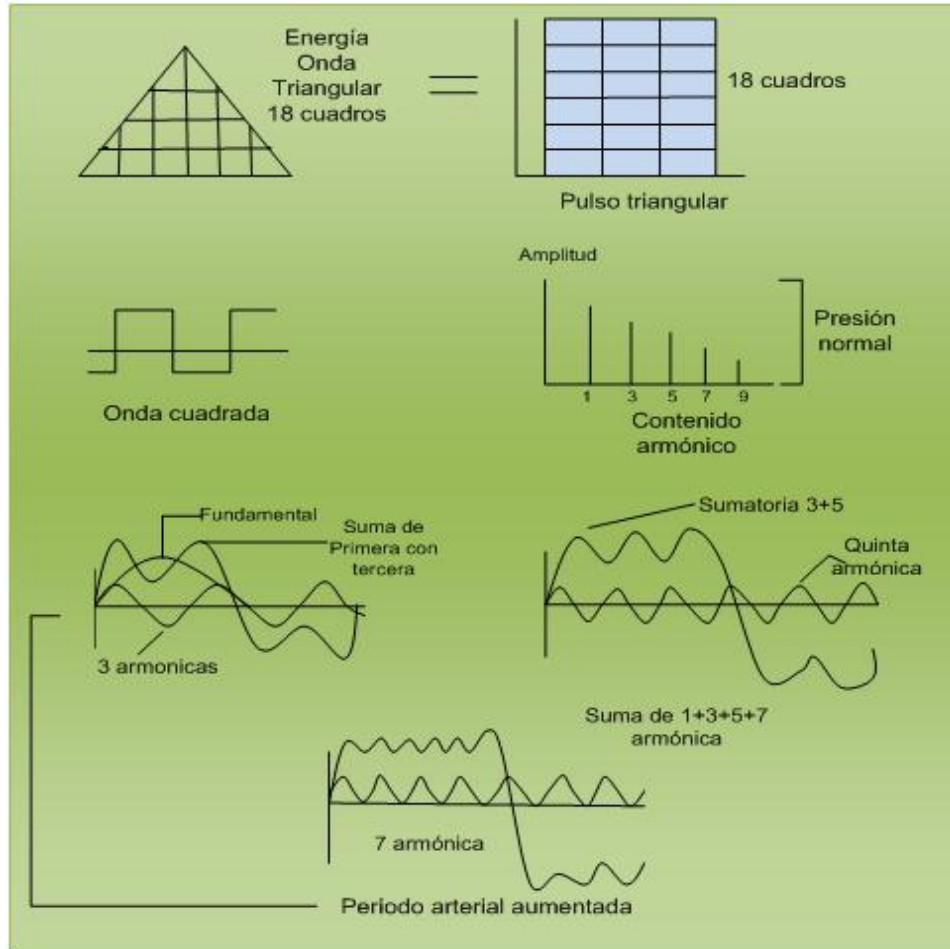
$$i = \frac{wvl}{Z^2} \cdot e^{-(\frac{R}{L})t} + \frac{v}{Z} \text{sen} (wt - \alpha)$$

#### ➤ Regulación de la presión arterial

La presión arterial, es regulada por varios sistemas, el más referenciado es barorreceptor que envía descargas al bulbo raquídeo para inhibir el centro vasomotor cuando se incrementa la presión arterial disminuyéndose la actividad de bomba en el corazón, por el contrario, si baja la presión el centro vasomotor se activa elevando hasta su normalidad la presión por la acción de la bomba cardiaca.

Su expresión electrónica se da al analizar la energía liberada por el contenido armónico de una onda tal como se ve en la figura 50.

**Figura 50:** analogía operacional presión arterial centro vasomotor

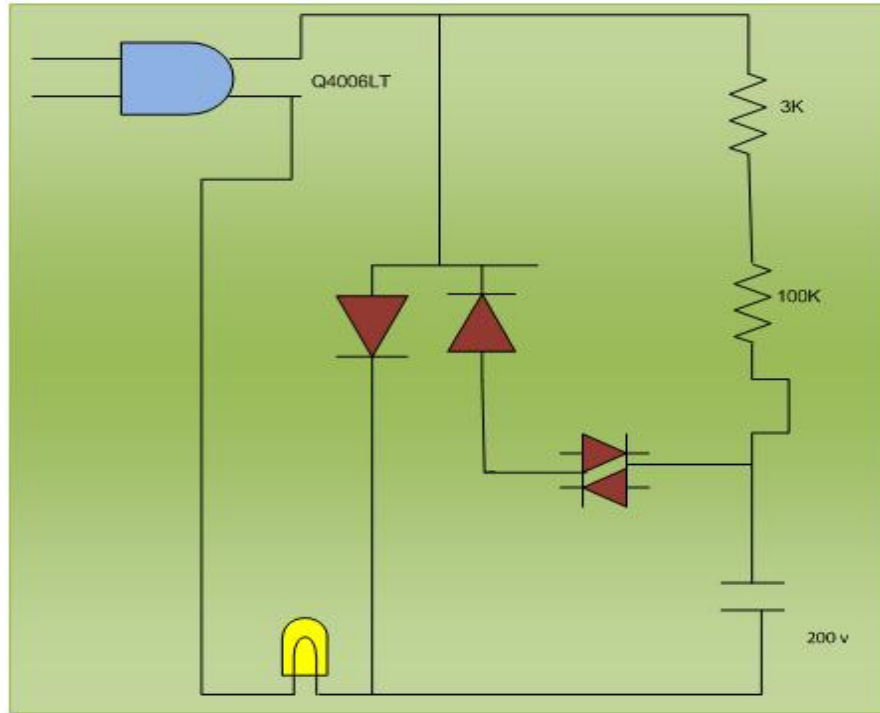


**Fuente:** Aporte Realizadores

El funcionamiento del sistema vasomotor por acción de los barorreceptores, se identifica totalmente con cualquier circuito atenuador de luz, que simplemente contiene un triac que conmuta la corriente 120 veces por segundo, con un ciclo de trabajo regulable mediante un sencillo integrado, hecho que se observa en la figura 51.



**Figura 51:** circuito atenuador analogía del sistema vasomotor



**Fuente:** Mejía Aurelio. Revista electrónica fácil N° 23

### 3.2.3. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control que operan en el cuerpo humano evidencian las características siguientes:

➤ Retroalimentación negativa

Serie de cambios que hacen que un factor retorne al valor medio para mantener la homeóstasis.

➤ Ganancia

Relación entre el nivel de corrección y el error presentado

$$\text{Ganancia} = \text{Corrección/error}$$

Esta expresión debe ser valorada por ejemplo en los procesos de transfusión sanguínea y la eficacia de bombeo del corazón, la corrección se asocia entonces a la operación para normalizar el flujo de sangre y el error con el índice de afectación del órgano.

➤ Confiabilidad

El cuerpo humano en su funcionamiento es totalmente confiable, es decir si no existen fallas o trastornos, su probabilidad de operación correcta es siempre 1; pero en eventos críticos la confiabilidad de operación, se puede asimilar a un sistema en paralelo con componentes de igual confiabilidad, cuyo valor será [18].

$$R(t) = P(T > K)$$

$$R(t) = \int_0^{\infty} F(x)dx$$

$$R(t) = e^{-\alpha t}$$

$$R(t) = 1 - [1 - R_1(t)][1 - R_2(t)] \dots [1 - R_n(t)]$$

$$R(t) = 1 - [1 - R(t)]^N$$

$$R(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t)R_2(t)$$

$$R(t) = e^{-\alpha_1 t} + e^{-\alpha_2 t} - e^{-t(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

### 3.2.4. POTENCIAL DE MEMBRANA Y POTENCIAL DE ACCIÓN

Fisiológicamente, el nivel potencial de difusión a través de una membrana que se opone a la difusión de un ion, se denomina potencial de Nernst, que se evalúa a una temperatura normal de 37°C y se expresa así:

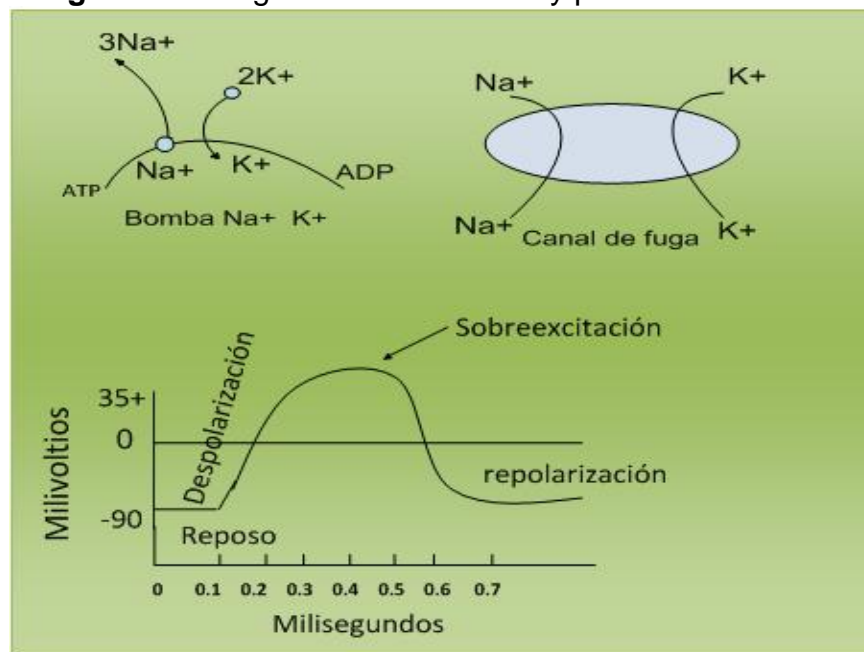
$$FEM \text{ (millivolts)} = \pm 61 \log \frac{\text{concentración interior}}{\text{concentración exterior}}$$

Su funcionalidad integra la fase de reposo, la fase de despolarización y la fase de repolarización, que se visualiza en la figura 52, que ilustra la bomba sodio-potasio y el potencial típico de acción, cuya interpretación demanda el comprender las características de la células de SCHWAN que permite señalar:

- Citoplasma
- Núcleo
- Axones no mielinizados
- Módulo de Ranvier
- Vaina de mielina

Y que constituye un ejemplo formal de un aislante eléctrico.

**Figura 52:** integración bomba k-Na y potencial de acción



**Fuente:** Guyton y Hall. Fisiología medica

El control anatómicamente referenciado y expuesto anteriormente, se homologa funcionalmente a la operación realizada por el despachador de excepciones del KERNEL de un sistema operativo como Windows 7, que enmarca: los niveles y tipos siguientes [19]:

NIVEL	TIPO
0	Pasiva
1	APC (asíncrona)
2	DPC (diferida)
3-26	IRQ (tradicionales)
27	Perfil
28	Reloj
29	Notificación (procesador)
30	Fallo en electricidad
31	Error de bus

Involucrando por ende los gestores de objetos, de procesos, memoria virtual, entrada y salida y el gestor de cache, para así entonces direccionar tanto los canales IRQ como el vector IRQ, cuya equivalencia se registra como:

<b>CANAL IRQ</b>	<b>VECTOR IRQ</b>	<b>EMPLEO</b>
0	08H	Timer
1	09H	Teclado
2	0AH	Controlador
3	0BH	Com2
4	0CH	Com1
5	0DH	Lpt2
8	70H	Reloj de tiempo real
9	71H	Controlador SCSI
10	72H	Libre
11	73H	Libre
12	74H	Mouse PS/2
13	75H	Coprocesador matemático
14	76H	Controlador disco duro IDE
15	77H	Controlador disco duro IDE

La implementación formal, se ejemplifica con la ejecución de estas instrucciones con ayuda del depurador a saber:

➤ SYSTEM ("CLS")

MOV AX, 0600

MOV BH, E2

MOV CX, 00

MOV DX, 784F

INT 10H

- Getchar () o SYSTEM ("pause")

MOV AH, 07

INT 21H

- Return(0)

MOV AX, 4C00H

INT 21H

Cada acción del sistema, involucra el dialogo entre el micro procesador, el chip set y el bus, con el correspondiente registro de cada estado, para observarlo, solo se quiere ejecutar esta rutina del depurador, valorando el estado funcional y resultante, por ejemplo configurar el mouse, ver el número de botones, capturar su versión y tipo, esto es:

MOV AX, 00

INT 33H

MOV AX, 01

INT 33H

MOV AX, 24H

INT 33H

NOP

La ejecución de esta rutina señala un proceso homeostático puesto que en cada llamado a la interrupción el sistema mantiene su estructura de orden y genera o parametriza los valores que corresponden a la respuesta de la operación definida; su ejecución se ejemplifica y se describe de esta manera.

- Cuando se ejecuta el servicio 00 la interrupción captura en AX y en BX el estado de configuración del mouse y el número de botones que posee, es decir FFFF (-1) y 0002, tal como se muestra.

Luego en la pantalla se visualiza un rectángulo puesto que se hizo visible el indicador y ahora el valor almacenado por los registros del sistema es 2 líneas.

Finalmente, cuando se cataloga el servicio de 24 sobre el registro AX y se encadena la correspondiente interrupción, se observa que en BH (parte alta de BX), aparece la versión del controlador que para este caso es 08, la copia es reléase es 00 que se guarda BL (parte baja de BX); en CH (parte alta de CX), se guarda el valor 03 que señala que es un mouse tipo PS/2 con dos botones (parte baja de CX: CL=02).

Se observa que el registro bandera (EFLAY), responsable de mantener el control homeostático en el sistema no ha cambiado sus valores, pues a cada instante mantuvo constante sus indicadores: NV UP EI PL NZ NA PO NC, al ejecutar el primer servicio el procesador retorna el siguiente resultado.

```
AX=0000    BX=0000    CX=0000    DX=0000    SP=FFEE
BP=0000    SI=0000    DI=0000    DS=1552    ES=1552
CS=1552    IP=0103    NV UP EI PL NZ NA PO NC
1552:0103, DC33,    INT33.
```

```
AX=FFFF    BX=0002    CX=0000    DX=0000    SP=FFEE
BP=0000    SI=0000    DI=0000    DS=1552    ES=1552
SS=1552    CS=1552    IP=0105    NV UP EI PL NZ NA PO NC
1552:0105 B80100    MOV AX,0001
```

```
AX=0001    BX=0002    CX=0000    DX=0000    SP=FFEE
BP=0000    SI=0000    DI=0000    DS=1552    ES=1552
SS=1552    CS=1552    IP=0108    NV UP EI PL NZ NA PO NC
1552:0108CD33    INT 33
```

```
AX=0001    BX=0002    CX=0000    DX=0000    SP=FFEE
BP=0000    SI=0000    DI=0000    DS=1552    ES=1552
SS=1552    CS=1552    IP=0108    NV UP EI PL NZ NA PO NC
1552:010A B82400    MOV AX, 0024
```

```
AX=0024    BX=0002    CX=0000    DX=0000    SP=FFEE
BP=0000    SI=0000    DI=0000    DS=1552    ES=1552
SS=1552    CS=1552    IP=010D    NV UP EI PL NZ NA PO NC
1552:010D CD33    INT 33
```

AX=0024	BX=0800	CX=0302	DX=0000	SP=FFEE
BP=0000	SI=0000	DI=0000	DS=1552	ES=1552
SS=1552	CS=1552	IP=010F	NV UP EI PL NZ NA PO NC	
1552:010F 90	NOP			

### 3.3.CONTROL FUNCIONAL DEL MOVIMIENTO

Fisiológicamente, las regiones motrices y somatestésica de la corteza cerebral están especializadas y controlan partes del cuerpo, desde los dedos, la nariz, la lengua hasta los genitales hecho que se confirma al evaluar estas operaciones particulares<sup>3</sup>:

- Pronunciación palabra
  - o Córtex motor
  - o Fascículo arqueado
  - o Área de Wernicke
  - o Área auditiva primaria
  - o Área de broca
- Reconocimiento de rostros
  - o Lóbulo frontal
  - o Lóbulo temporal
  - o Área de enlace visual
- Procesos de memoria
  - o Hipocampo
  - o Lóbulo temporal
  - o Amígdala
- Proceso de comunicación
  - o Tálamo
  - o Globus pallidus
  - o Cuerpo estriado
  - o Ganglios basales

Dicha segmentación funcional, se homologa fácilmente en el computador tal como ocurre con la distribución en el mapa direccional que configura el PC, a saber:

- Controlador DMA=0000
- Controlador de interrupciones=0020
- Temporizador =0040
- COM2 =02F8
- Disco duro= 0320

---

<sup>3</sup>Evarts Edward. Mecanismos cerebrales del movimiento. Libro de investigaciones y ciencia. S.A 2008

- LPT1 =0378
- Adaptador grafico =03D0
- COM1 =03F8
- Expansión y/o = FFFF

O como se cataloga los pines de un circuito integrado como el ELN556 cuyos 14 pines funcionan de esta manera:

- Pin1=Descarga
- Pin2=Umbral
- Pin3=+Voltaje
- Pin5=salida
- Pin8=disparador
- Pin14=+Voltaje

La interpretación del control de movimiento que realiza el cerebro, implica entonces el describir en primera instancia el proceso de contracción del musculo esquelético, luego tramitar el flujo de corriente durante el ciclo cardiaco, la función motora de los ganglios basales y finalmente mediante la simulación determinar el eje de acción sobre el cual se abra de modelar la estructura del dispositivo que se entregará en la segunda fase del proyecto de investigación, previo conocimiento de la funcionalidad del motor de paso y de la construcción del soporte con algunos circuitos de referencia.

### **3.3.1. ANATOMIA FISIOLÓGICA DEL MUSCULO**

La descripción formal del movimiento realizado por el musculo, demanda comprender su compleja estructura, en donde se identifica: fascículo muscular, la fibra muscular, las bandas y discos, los sarcómeros, la miofibrilla, los miofilamentos, y las moléculas de integración con la G-Activa, la F-Activa, la miosina, meromiosina y el sarcolema.

El sarcolema es la membrana celular de la fibra muscular, formado por polisacáridos con capas delgadas de colágeno; el sarcoplasma y el retículo sarcoplásmico juegan un papel especial en la contracción muscular, cuya disposición operacional se define en 8 pasos, estos son:

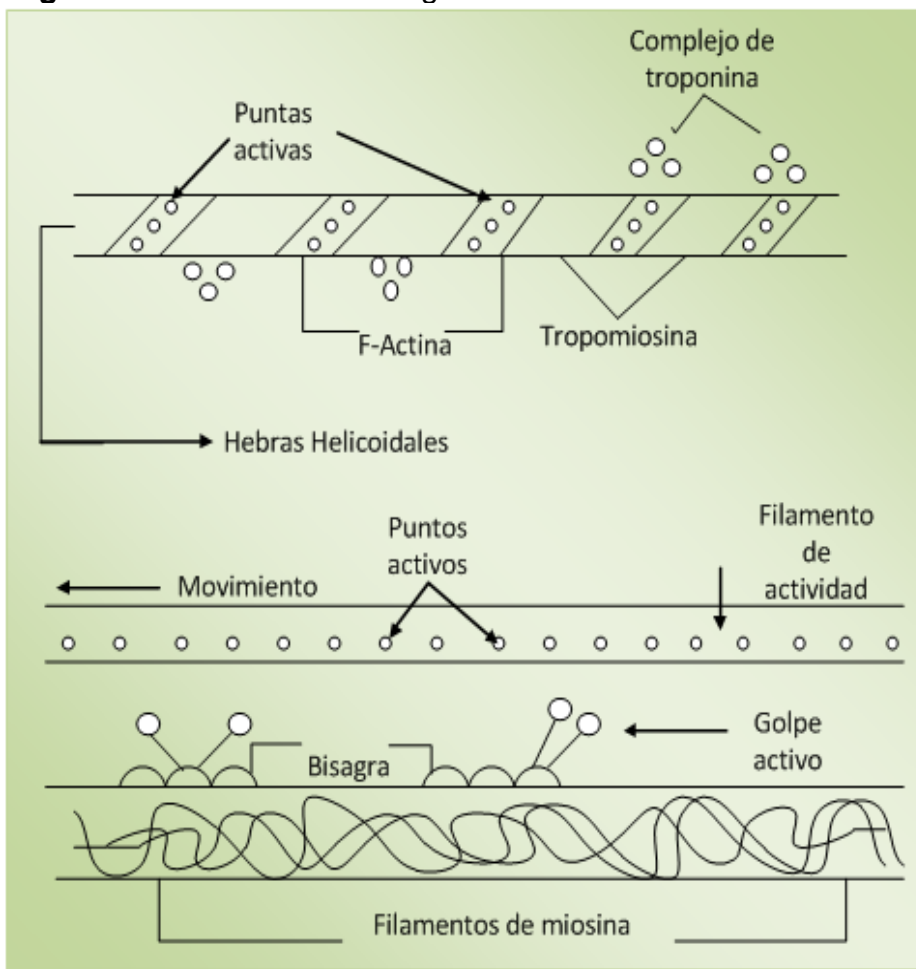
- Un potencial de acción viaja a lo largo de la fibra motora.
- En cada terminal, el nervio secreta una pequeña cantidad de la sustancia acetilcolina.
- La acetilcolina actúa por moléculas proteicas.
- La apertura de canales que activa la acetilcolina genera grandes cantidades de iones de sodio.
- El potencial de acción viaja a lo largo de las membranas fibrosas.



- El potencial de acción despolariza la membrana muscular.
- Los iones calcio inician fuerzas de atracción frente a los filamentos de actina y miosina, generando el despliegue longitudinal y el proceso contráctil.
- Los iones de calcio son bombeados por el retículo sarcoplásmico por el  $Ca^{++}$  de la membrana.

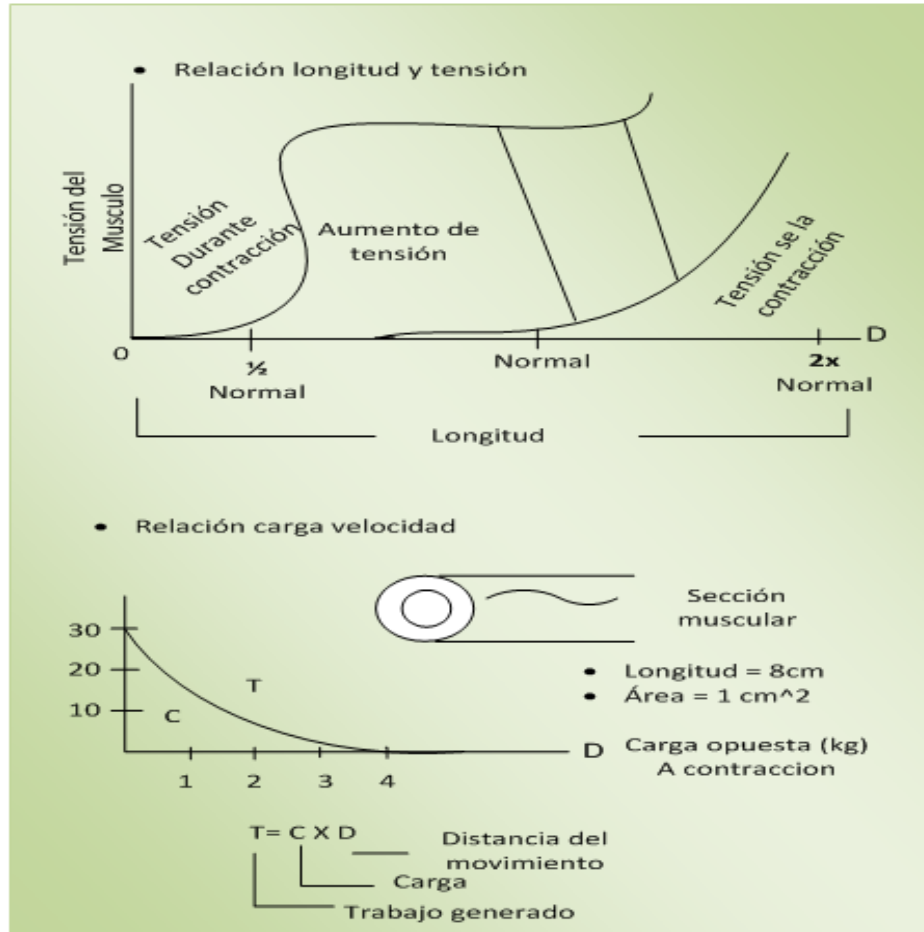
Gráficamente esta funcionalidad se puede apreciar en la figura 53 y en la figura 54, se muestra la relación de cargas y tensión, luego de exponer las características de contracción se modela matemáticamente operación.

**Figura 53:** funcionalidad integral de contracción



**Fuente:** Guyton And Hall. Tratado de fisiología médica. Editorial Elsevier

**Figura 54:** relación carga tensión



**Fuente:** Guyton And Hall. Tratado de fisiología médica. Editorial Elsevier

El proceso de contracción se puede tratar físicamente con la ayuda de un sistema físico masa-resorte, cuyo descriptor matemático se expresa como:

$$Ky_0 = mgy(0) = 0y'(0) = 0$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = mg - k(y + y_0) + h(t)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + ky = h(t)$$

Tan pronto se genera el movimiento, se tiene.

$$ms^2 L[y] + k L[Y] = L[h(t)]$$

$$L[y] = \frac{L[h]}{ms^2 + k}$$

$$y(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{ms^2 + k} \right] * h(t)$$

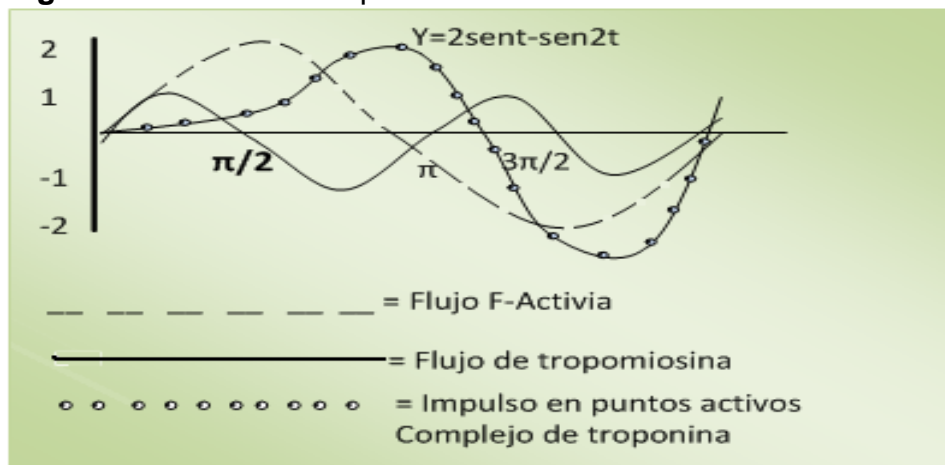
$$y(t) = L^{-1} \left[ \frac{\sqrt{\frac{K}{M}}}{\sqrt{mk(s^2 + (\frac{k}{m})}} \right] * h(t)$$

$$y(t) = \left( \frac{1}{\sqrt{mk}} \operatorname{sen} \sqrt{\frac{k}{m}} t \right) * h(t)$$

$$y(t) = \frac{A}{\sqrt{mk}} \int_0^t \operatorname{sen} \left[ \sqrt{\frac{k}{m}} (t - \mu) \right] \operatorname{sen} \mu t d\mu$$

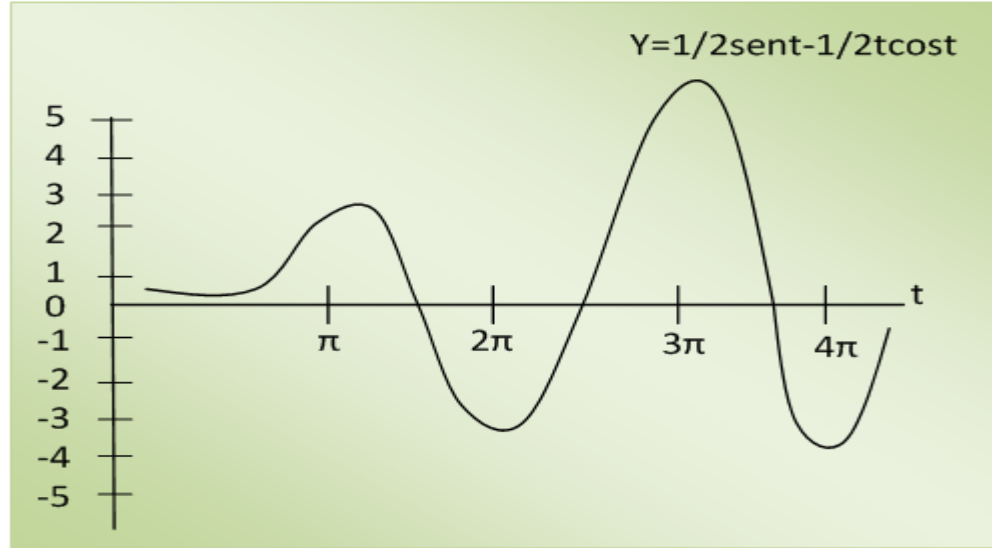
Cuya descripción se asocia con el impulso mediante la función  $y = 2 \operatorname{sen} t - \operatorname{sen} 2t$  con la contracción dada por la función  $y = \frac{1}{2} \operatorname{sen} t - \frac{1}{2} t \cos t$ , que se presentan con las figuras 55 y 56.

**Figura 55:** función de impulso



**Fuente:** aporte realizadores

**Figura 56:** función de contracción



**Fuente:** aporte realizadores

Debe asimilarse el proceso de contracción muscular al proceso operacional circuito mostrado por la figura 57, en el que el voltaje ejemplifica la descarga, las bobinas se asocian a los iones, las resistencias a los filamentos de miosina y el condensador a la fuerza de atracción entre la actina y la miosina, su formalización matemática se expresa como:

$$L \frac{di_1}{dt} + \frac{Ldi}{dt} + Ri = \varepsilon(t)$$

$$\frac{Ldi}{dt} + Ri - \frac{1}{c} q_2 = 0 \quad \frac{dq_2}{dt} = i_2$$

Q2 es la carga del condensador

$$\frac{Ldi}{dt} + \left( L \frac{d}{dt} + R \right) i = \varepsilon(t)$$

$$-\frac{1}{e} i_1 + \left( l \frac{d^2}{dt^2} + R \frac{d}{dt} + \frac{1}{c} \right) i = 0$$

$$-\frac{1}{c} i_1 + \left( l \frac{d^2}{dt^2} + R \frac{d}{dt} + \frac{1}{c} \right) i = 0$$

$$i \left( L^2 c \frac{d^3}{dt^3} + LCR \frac{d^2}{dt^2} + 2L \frac{d}{dt} + R \right) = \varepsilon(t)$$

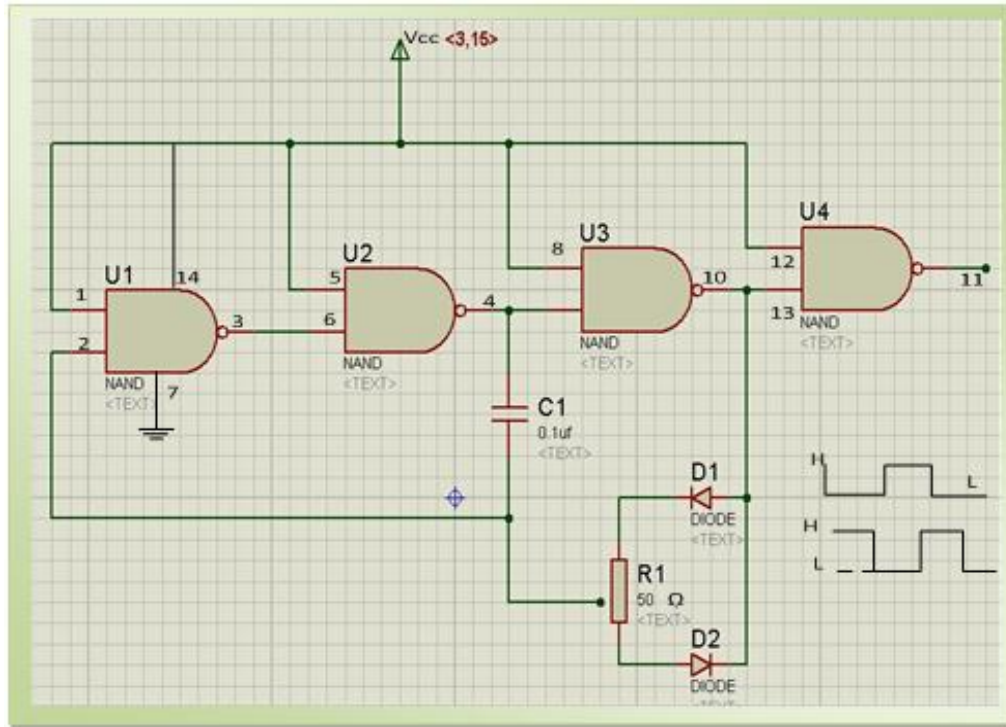
Pero

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$$

$$i = C_1 \cos \omega t + c_2 \sin \omega t$$

Electrónicamente el complejo accionar fisiológico del musculo puede modelar con la ayuda del integrado CMOS 4011 para implementar un oscilador con ancho de pulso variable, cuyas salidas corresponderían a la contracción y a la respuesta (Ver Figura 57).

**Figura 57:** oscilador con ancho de pulso variable



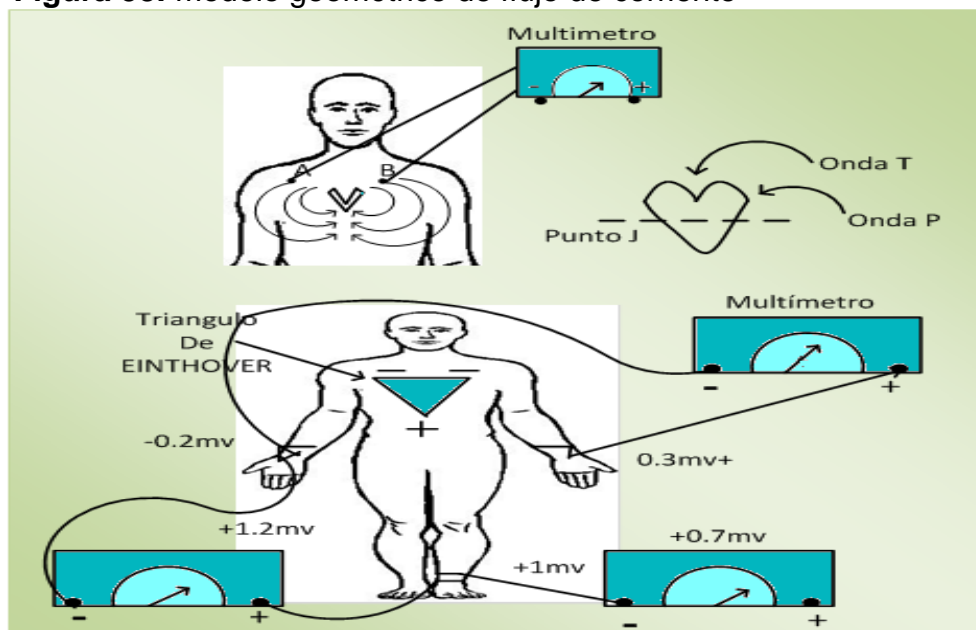
**Fuente:** Mejía Aurelio. Revista electrónica fácil N°15

### 3.3.2. FLUJO DE CORRIENTE: CICLO CARDIACO

La polarización de sincitio cardiaco, ocasiona la salida de cargas negativas hacia el exterior de las fibras musculares, haciendo que esta superficie sea electronegativa, produciendo entonces flujos de corriente fácilmente medibles en el corazón, por ejemplo: registra negatividad hacia la base y positividad hacia la punta<sup>4</sup>, tal como lo registra el modelo geométrico dispuesto en la figura 58, que despliega el llamado triángulo de EINTHOVEN; que señala como los músculos y las piernas forman vértices electrónicos que rodean al corazón permitiendo conocer cualquier voltaje a partir de la lectura de dos de ellos, con ayuda del electrocardiograma, con el que se puede valorar el vector medio instantáneo, cuya representación gráfica se da en la figura 59, de gran utilidad para estudiar la conocida onda T, generada por la repolarización, la onda P presente en la despolarización y el punto J que señala el nivel de potencial cero, de gran utilidad para casos de la fibrilación ventricular para poder aplicar una corriente.

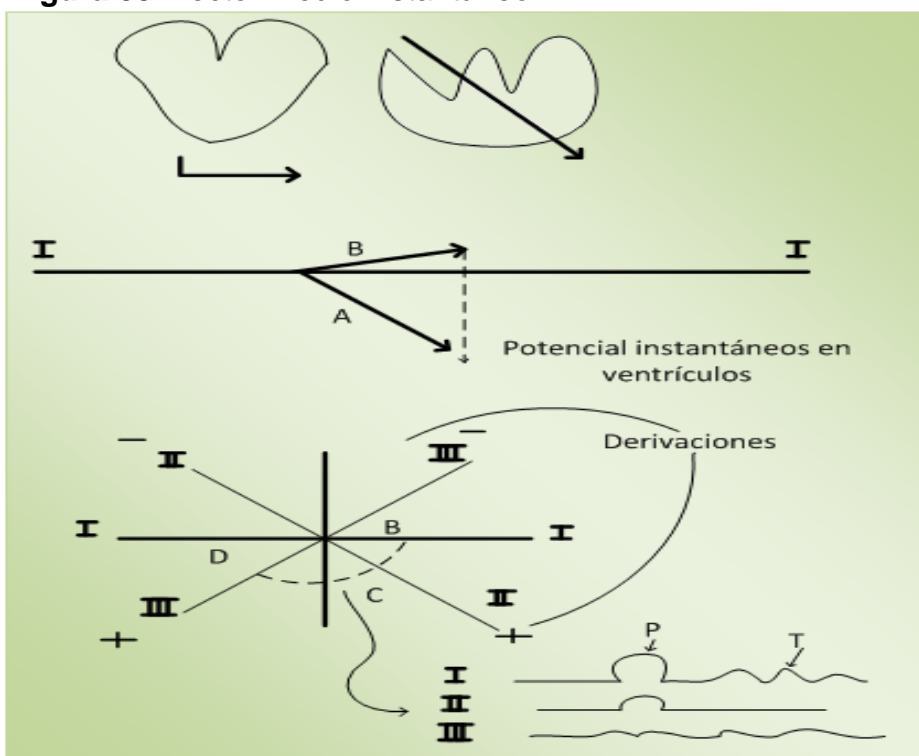
<sup>4</sup> John Hall. University of Mississippi medical center textbook of medical Physiology

**Figura 58:** modelo geométrico de flujo de corriente



**Fuente:** Guyton And Hall. Tratado de fisiología médica. Editorial Elsevier

**Figura 59:** vector medio instantáneo



**Fuente:** Mejía Aurelio. Revista electrónica fácil N°15

### 3.3.3. FUNCIÓN MOTORA DE LOS GANGLIOS BASALES

Los ganglios basales junto con el cerebelo construyen otro sistema motor auxiliar que funcionan con el sistema corticoespinal y la corteza cerebral, la relación anatómica se expresan a cada lado del encéfalo y están formadas por el núcleo cuando, el putamen, el globo pálido, la sustancia negra y el núcleo subtalámico.

Los ganglios basales determinan la asociatividad del motor cognitivo, la asociación premotora y motora suplementaria y su regulación funcional sobre el musculo conlleva la interpretación del conjunto de especificaciones aquí listado:

- Músculo = cerebelo + formación reticular + colina inferior + núcleo rojo + sustancia negra + subtálamo + globo pálido.
- Globo pálido = putamen + tálamo + subtálamo + núcleo caudado + corteza motora.
- Núcleo caudado = corteza motora + áreas de asociación premotora y motora.

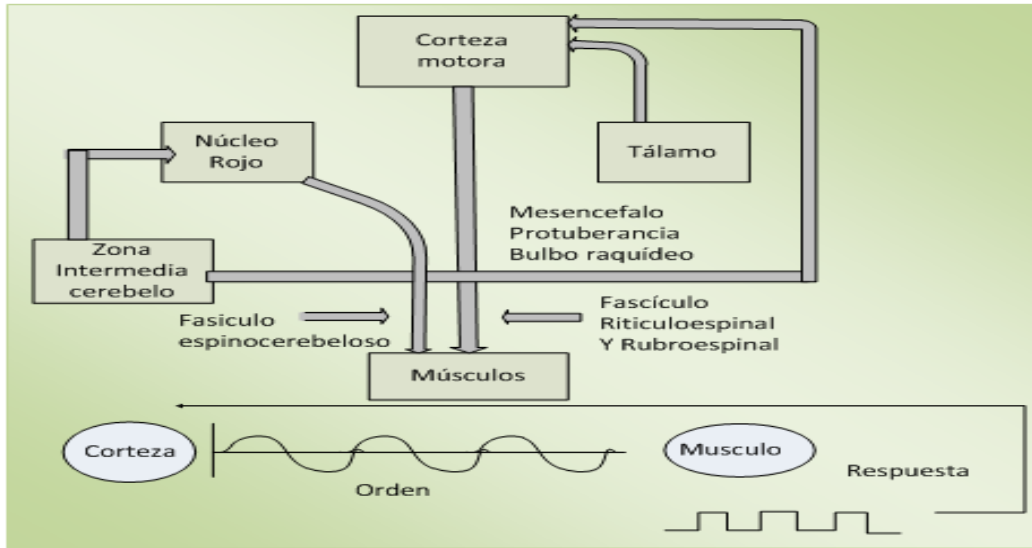
Es preciso resaltar con ayuda de la normalización descriptiva el siguiente circuito de putamen que a través de los ganglios basales, reproduce los patrones aprendidos del movimiento.

- Áreas de acción = prefrontal + premotora + suplementaria + motora primicia + somatosensitiva
- Entidades funcionales = putamen + globo pálido + subtálamo + sustancia negra + núcleos ventroanterior y ventrolateral del tálamo
- Asociaciones =
  - Putamen – globo pálido
  - Globo pálido – sustancia negra
  - Sustancia negra – subtálamo
  - Subtálamo – tálamo ( Núcleos)
  - Núcleos – área motora
  - Prefrontal – putamen

El control cerebral y cerebeloso de los movimientos voluntarios se ilustra en la figura 60 y luego con ayuda de un circuito elemental tal como una alarma temporizada, se ejemplifica la asociatividad mostrada en las especificaciones señaladas ( Ver figura 61).



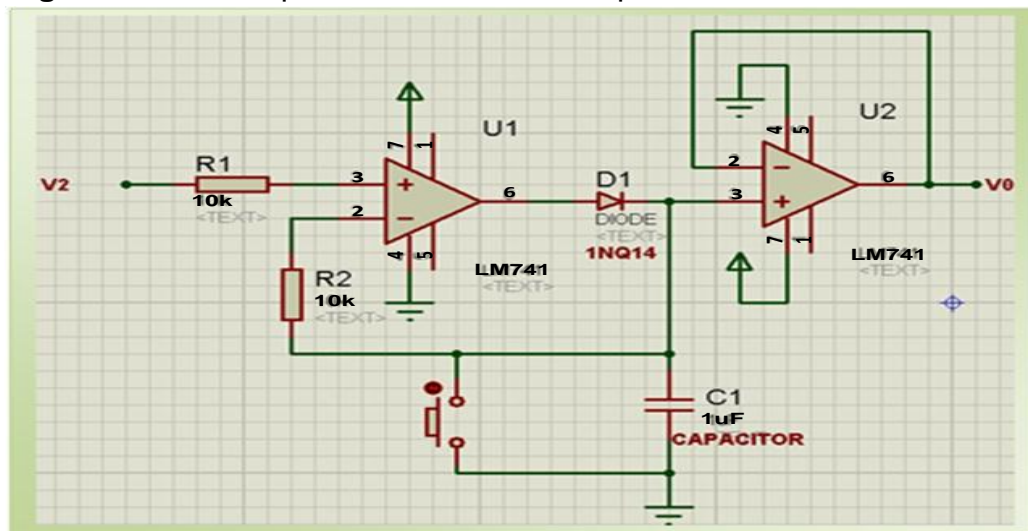
**Figura 60:** circuito control cerebral



**Fuente:** Guyton And Hall. Tratado de fisiología médica. Editorial Elsevier

La diferencia en los voltajes mostrados en brazo y bombillo de la figura preparada, se puede interpretar fácilmente con la ayuda de un detector de pico, que empleando un 741, permita comprobar como un condensador se carga mediante polarización del diodo manteniendo positivo el voltaje, tal como se presenta en el cuerpo humano.

**Figura 61:** circuito polarizador detector de pico



**Fuente:** MEJIA AURELIO. Revista electrónica final n°18

### **3.3.4. RECEPTORES SENSITIVOS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION**

El proceso de información en los circuitos neuronales, es relacionado por los sensores sensitivos del organismo, que por su funcionalidad se clasifican como:

➤ Mecanorreceptores:

Detecta la comprensión mecánica o estiramiento de tensión adyacentes.

➤ Termorreceptores:

Detectan cambios de temperatura.

➤ Nocirreceptores:

Detectan presencia del dolor.

➤ Electromagnéticos:

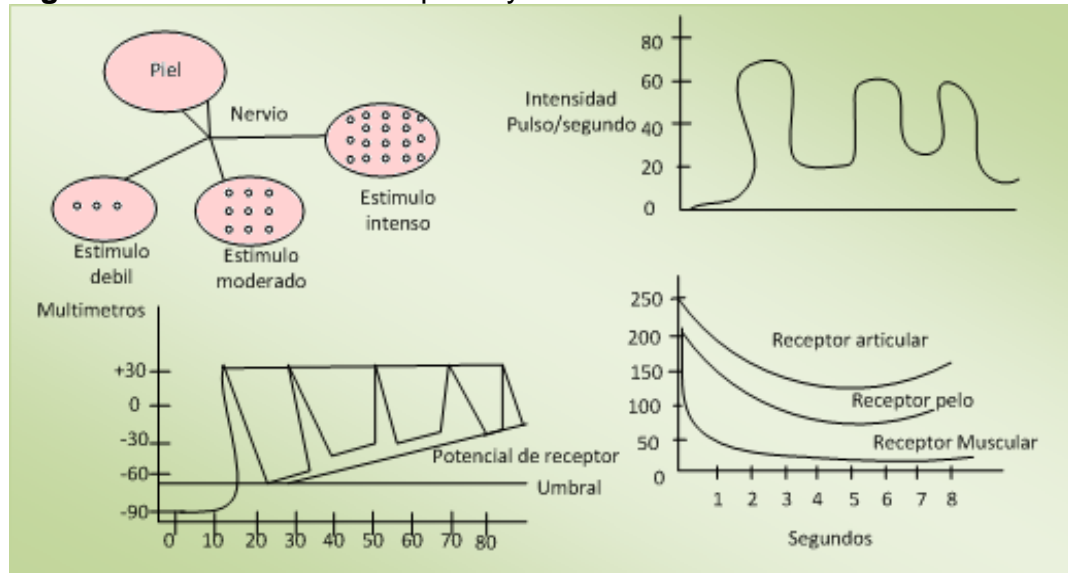
Detectan la luz en la retina.

➤ Quimiorreceptores:

Detectan el gusto, el olfato, la osmolalidad y concentración de dióxido de carbono.

Para los fines específicos del proyecto, se requiere conocer cómo se realiza la traducción de estímulos sensitivos en impulsos nerviosos, es decir conocer el potencial del receptor al excitar una fibra nerviosa, para ello solo es necesario tener presente la figura 62.

**Figura 62:** Potencial de recepción y excitación



**Fuente:** JOHN HALL. TEXTBOOK OF MEDICAL PHYSIOLOGY

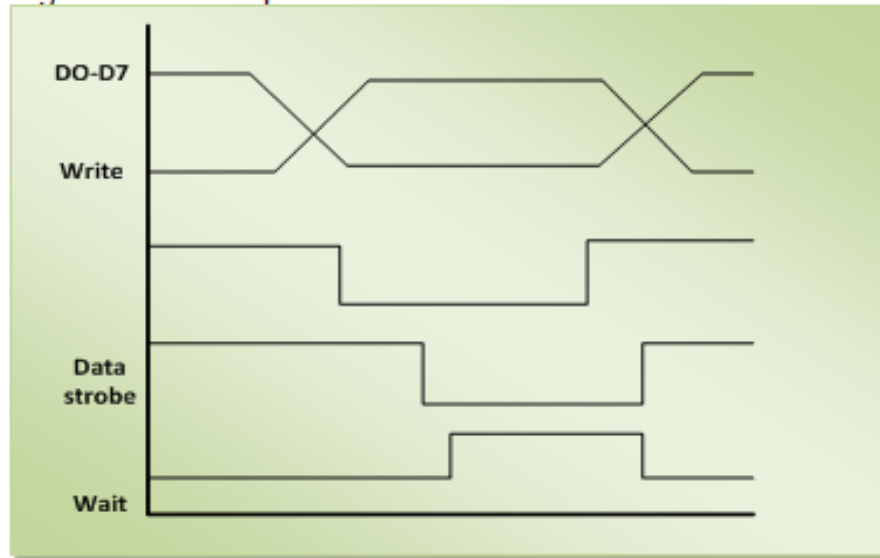
Para luego poder interpretar la transmisión de señales a través de grupos neuronales, pudiendo cualificar la zona facilitada, la zona de descarga y la zona facilitada o poder comprender la función de los circuitos inhibidores y los circuitos reverberantes junto con la llamada fatiga sináptica como medio de estabilización del sistema nervioso, actividad que se comporta análogamente a la operación de efectos luminosos al ritmo de la música o los aplausos, con ayuda de un integrado 741 que se acopla fácilmente a un transistor NPN Amplificador e Inversor.

Computacionalmente el proceso citado, se asemeja al modo EPP (EXTENDED PARALLEL PORT MODE), que direcciona el segmento 03H-07H y opera de esta manera:

- SPP DATA (00H): ESCRITURA
- SPP STATUS (01H): LECTURA
- SPP CONTROL (02H): ESCRITURA
- EPP ADDRESS (03H): LECTURA/ ESCRITURA
- EPP DATA 0 (04H): LECTURA/ ESCRITURA
- EPP DATA 1 (05H): LECTURA/ ESCRITURA
- EPP DATA 2 (06H): LECTURA/ ESCRITURA
- EPP DATA 3 (07H): LECTURA/ ESCRITURA

Operacionalidad que se visualiza con ayuda de la figura 63.

**Figura 63:** ciclo operacional EPP



**Fuente:** INTEL PRESS

De esta manera se explica que la construcción de elementos cibernéticos, demanda no solo el conocimiento de electrónica, sino que exige el dominio de la estructura formal del computador para así poder construir y/o DRINERS, es decir debe poseerse la capacidad para construir código como el que se presenta seguidamente:

```
void init (int Libre)
{
    output ((int)& con -> interrupt-enable,0);
    output ((int)& con -> format,F_lateh|F_alto|F_paridad|F_uno|F_Datos);
    (void)import(int)&con -> interrupt-enable);
}
```

Y complementariamente debe conocer formalmente, el funcionamiento de un motor de paso y poder el ambiente descriptivo de un canal típico como el DMA y DC la ASPI, que a nivel básico se explican a continuación.

#### **3.3.4.1. ASPI**

La interface ADVANCED SCSI PROGRAMMING interface es una entidad universal entre el sistema operativo y los dispositivos SCSI al actuar de forma directa con los controladores de dispositivos, para ello solo se requiere conocer códigos simples como estos:

Aplicación:

Sistema operativo:

ASPI/SCSI:

Dispositivos

00H= evaluar adaptador

01H= encontrar tipo de unidad

02H= ejecutar instrucción

03H= interrumpir instrucción

04H= restaurar unidad

05H= parámetros de adaptador

06H= reservado

07H= control

80H= parámetro de enlace

#### **3.3.4.2. CANAL DMA**

El acceso directo a memoria, garantiza que el procesador se libere del acceso a los datos, al control y a la dirección, actuando como maestro o como esclavo, cuya operación se define con códigos simples como:

➤ Maestro

87H= escalonamiento

83H= Libre

81H= controlador

82H= puerto EPP (IEEE 1284)

➤ Esclavo

8F= escalonamiento

8B= controlador

89= libre

8A= controlador

El control ejercido permite barrer lógicamente toda la configuración habilitada en el sistema con acción directa del catálogo de la BIOS, tal como se ilustra con el código C++ y código ensamblador que se lista aquí:

➤ Programación de temporizadores

Libre PROC NEAR

PUSH	AX
PUSH	DX
MOV	DX, 706H
MOV	AC, 36H
OUT	DX, AL
MOV	AL, 78H
OUT	DX, AL
MOV	DX, 700H
MOV	AL, 80
OUT	DX, AL
XOR	AL, AL
OUT	DX, AL
MOV	DX, 702H
MOV	AL, 40
OUT	DX, AL
XOR	AL, AL
OUT	DX, AL
POP	DX

POP        AX

RET

Libre ENDP

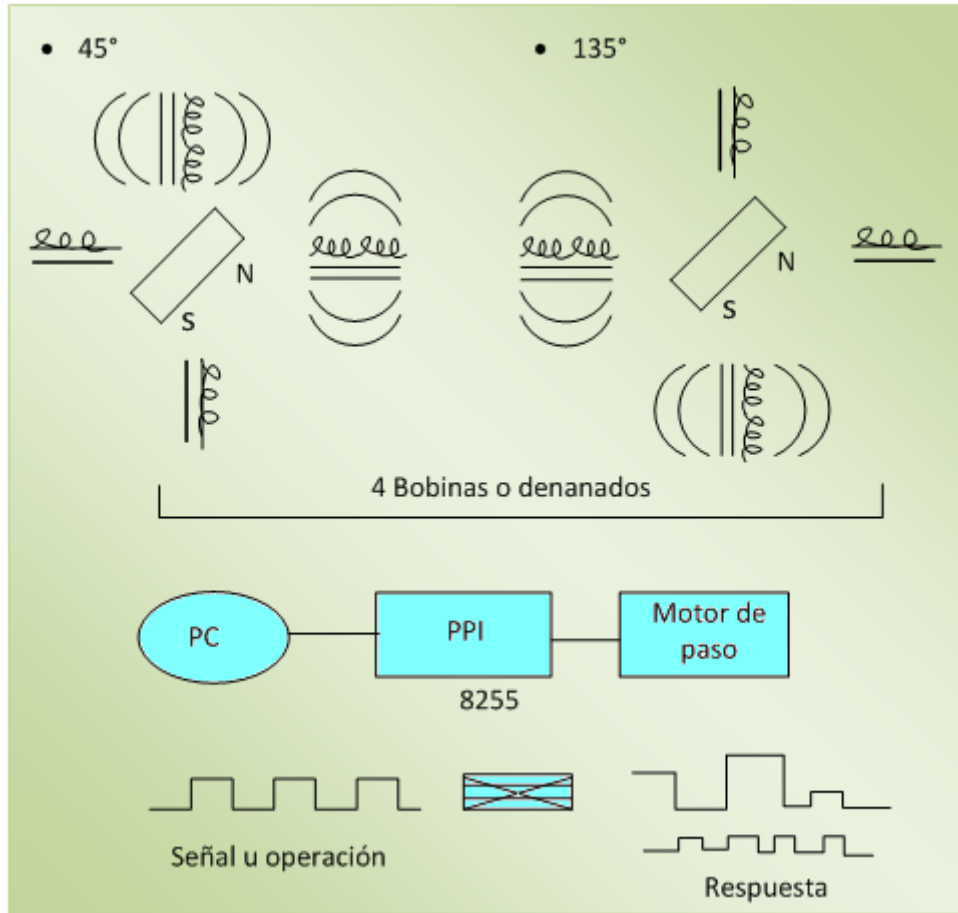
➤ Recorrido de configuración

```
Main (){
    struct sregs libre1;
    char nombre[16];
    unsigned char Bioslibre,
    union regs libre,
    Libre.X.DX=FP-OFF((void far *)nombre);
    Libre.DS=FP-SEG((void far *)nombre);
    Libre.X.AX= 0x5e00;
    Int86X(0X21, &libre,&libre,&libre1);
    if(libre.H.CH==0) {
        cls;
        gotoxy(25,12);
        printP('error, equipo no tiene nombre\n');
        exit(1);
    }
    Bioslibre=libre.H.CL;
    cls;
    gotoxy (25,12);
    printP ('equipo marcado=%s",nombre);
    getchar ();
    return (0);
}
```

### 3.3.4.3. MOTOR DE PASO

Entidad digital que se mueve en etapas discretas con fase de 1°, 15°,30°, 45°, 90°, 180° y 270°, que permite tener interface con cualquier interface periférica programable (PPI), tal como la 8255, procesando señales unidireccionales o bidireccionales, el programa para su movimiento y su operación (Figura 64), se muestran seguidamente:

**Figura 64:** ciclo total del motor de paso



**Fuente:** Berry Bray. The Intel Processors. Editorial Pearson 2008

➤ Código Assembly

- Data  
Posición DB 33H  
Libre EQ 40H

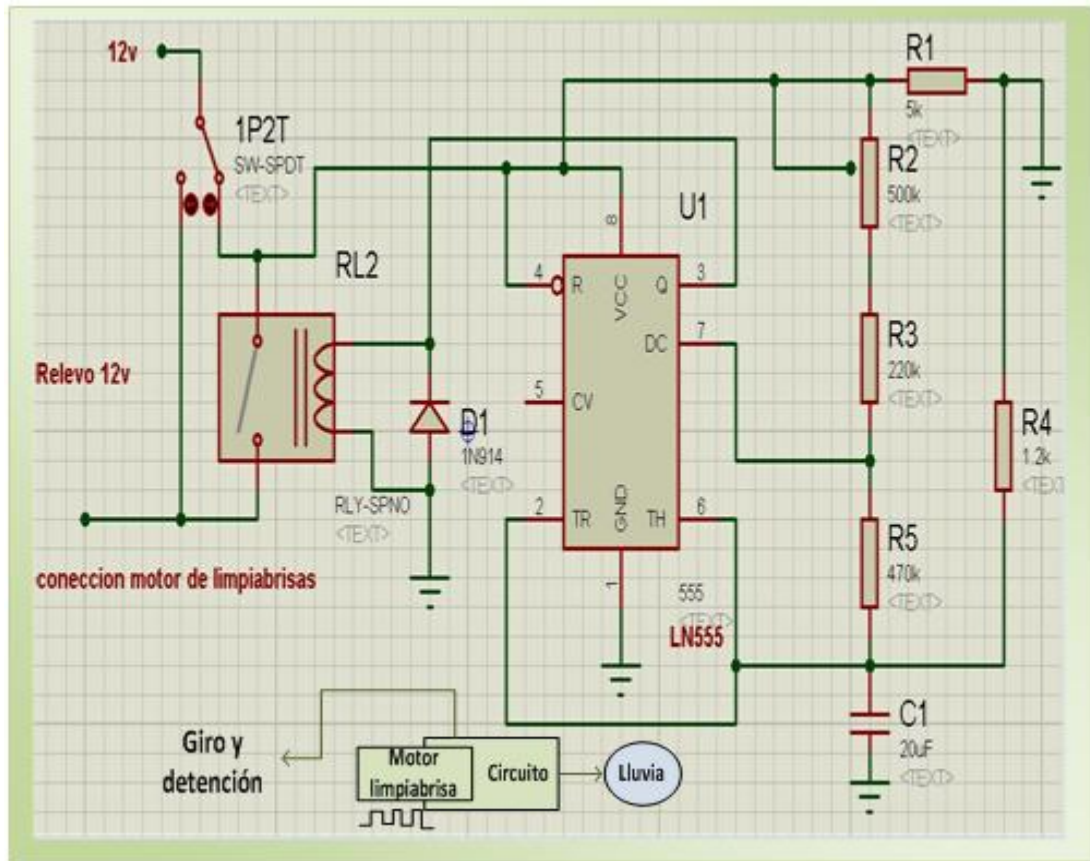
```
Paso: PROC    NEAR
MOV          AL, POSICION
CMP          CX, 800H
JA           DERECHA
CMP          CX, 0
JE           FINAL
```



Uno:	ROL	AL, 1
	OUT	LIBRE, AL
	CALL	DELAY
	LOOP	UNO
	JMP	FINAL
Derecha:	ROR	AL, 1
	OUT	LIBRE, AL
	CALL	DELAY
	LOOP	DERECHA
	FINAL	
	MOV	POSICION, AL
	RET	
Paso:	ENDP	

Como muestra formal de un acción de control por acción de un agente externo, se muestra un circuito practico como prototipo de control de movimiento, base o núcleo operacional par que el proyecto en la fase dos pueda construir un cyborg elemental que controle el movimiento de un brazo, mano o pierna, como producto ejemplificador y entregable se diseña un dispositivo de control que actuara las plumillas de un carro cuando se detecta la presencia de lluvia, que resume el tratamiento de la información durante el proceso sináptico, (Ver figura 65 ).

**Figura 65:** prototipo operacional de control



**Fuente:** Adaptación Realizadores. Electrónica Final

La formulación la confiabilidad de esta solución puede ser evaluada con la formulación de la funcionalidad en paralelo.

$$R(t) = 1 - [1 - R(t)]^n$$

$$R(t) = R1(t) + R2(t) - R1(t)R2(t)$$

$$R(t) = e^{-\alpha_1 t} + e^{-\alpha_2 t} - e^{-t(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Debe entenderse que el nivel funcional de un Cyborg se especifica mediante técnicas de simulación que hará uso de estas distribuciones.

➤ Distribución suma

$$\begin{aligned}
F_Z(z) &= P(\hat{Z} \leq z) \\
&= p(\bar{x} + \bar{y} \leq z) \\
&= \int_0^z \int_0^{z-x} a^2 e^{-ax} e^{-ay} dy dx \\
&= 1 - e^{-az} - aze^{-az}
\end{aligned}$$

➤ Distribución conjunta

$$\begin{aligned}
\tilde{z}_1 &= n_1(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4 \dots \bar{x}_n) \\
\tilde{z}_2 &= n_2(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4 \dots \bar{x}_n)
\end{aligned}$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{dv_1}{dz_1} & \frac{dv_1}{dz_2} & \frac{dv_1}{dz_n} \\ \frac{dv_2}{dz_1} & \frac{dv_2}{dz_2} & \frac{dv_2}{dz_n} \\ \frac{dv_1}{dz_n} & \frac{dv_1}{dz_n} & \frac{dv_1}{dz_n} \end{bmatrix} \text{ Jacobiano}$$

$$f_{xy}(x, y) = abe^{-ax}e^{-by} \quad x, y \geq 0$$

$$\tilde{z} = \bar{x} + \bar{y}$$

$$\mu = \bar{x} / \bar{y}$$

➤ Distribución gamma (dos parámetros: detección y conversión)

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} t^{n-1} e^{-t} dt > 0$$

Finalmente, para ilustrar el proceso de transmisión de señales con grupos neuronales, solo se requieren de implementar un programa java que controle hilos con prioridades diferentes, que determina el tiempo de atención asignado el cual se valora como el tiempo milisegundos que demanda la conversión señal a impulso nervioso.

El código es este:

```

class Libre implements Runnable {
    int valor=0;
    private Thread x1;
    private boolean running=true;
    public Libre(int A) {

```

```

        x1=new Thread(this);
        x1.setPriority(A);
    }
    public void run() {
        while (running) {
            valor++;
        }
    }
    public void stop() {
        running=false;
    }
    public void state () {
        x1.start();
    }
}
class Haga {
    public static void main(String args[ ]) {
        Thread.currentThread().setPriority(Thread.MAX_PRIORITY);
        Libre Hi= new Libre(Thread.NORM_PRIORITY+2);
        Libre Lo= new Libre(Thread.NORM_PRIORITY-2);
        Lo.run();
        Hi.run();
        try {
            Thread.sleep(10000);
        }
        catch(Exception e){};
        Lo.stop();
        Hi.stop();
        System.out.println(Lo.valor+"-"+Hi.valor);
    }
}

```

Se espera que el primer entregable de la fase dos del proyecto cyborg sea el producto de integral estos escenarios:

- Estructura del procesador
- Control móvil
- Programación I/o
- Diseño lógico
- Construcción de autómatas
- Integración funcional de señales
- Simulación de intercambio sensor-pulso nervioso

#### IV. CONCLUSIONES

- El modelamiento estructural de los mecanismos cerebrales del movimiento, demanda un conocimiento formal de la lógica digital, la estructura hardware, la fisiología y anatomía de los componentes formales sobre los cuales se implementa la sinapsis y de el conjunto de instrucciones con los que se implementa los prototipos de emulación y analogía en el entorno de la programación en bajo nivel y la programación convencional.
- Las características de la medula espinal, las capas de Purkinje y en general de la capa molecular, definen los elementos sistémicos, con los cuales se operacionaliza el proceso de conversión y funcionamiento de las señales.
- La descripción de la membrana postsináptica al excitarse o inhibirse, permite modelar el tratamiento de los canales de cloro y de potasio junto con los canales del sodio como reguladores de las cargas electrónicas positivas.
- Las señales electrónicas generadas por el cerebro se mapean de manera directa o por análisis del sistema de regulación hormonal y del sistema de control integral mediante el mapeo de la fase de despolarización y repolarización, pudiéndose comprender entonces la acción ejercida por los iones y los filamentos que se producen en el interior del proceso fisiológico.
- Con este trabajo, el programa de Ingeniería de sistemas de la Universidad Libre, posee el soporte documental con el cual se pueden desarrollar nuevos proyectos pendientes a diseñar y a construir soluciones de gran aplicabilidad en el entorno clínico, como aporte formal de la bioinformática, la electrónica y la inteligencia artificial, etapa cero para la interpretación funcional del organismo cibernético.

## IV. FUTUROS DESARROLLOS

Los realizadores del presente proyecto, establecen como marco de referencia conceptual, el modelamiento operacional y la interpretación conceptual de las áreas especializadas del cerebro humano al momento de recepcionar una señal externa que obliga a la generación de una respuesta para así excitar y generar el movimiento de la fibra muscular afectada, a continuación entonces se formulan los escenarios futuribles, con los que con nuevos proyectos de investigación aplicada o investigación tecnológica se podrá dar a conocer la potencialidad del desarrollo de soluciones para el denominado cyborg, estos son:

➤ **Proyecto 1:**

Diseño y construcción de un bastón georeferencial para ayuda y orientación de personas invidentes.

➤ **Proyecto 2:**

Conversor de las frecuencias de los colores a señales audibles para soporte y ayuda de personas con deficiencias en el sentido de la vista.

➤ **Proyecto 3:**

Prótesis integral para reemplazo de articulaciones afectadas o de la extremidad integral faltante.

➤ **Proyecto 4:**

Construcción del prototipo de control robotizado para manipulación y estudio de los componentes orgánicos asociados con los esquemas de movimiento catalogados por las áreas especializadas del cerebro.

➤ **Proyecto 5:**

Simulador cibernético de la generación de ritmos eléctricos y señalización de respuestas en las áreas especializadas.

Para lograr los objetivos formales de cada uno de estos proyectos, se precisa de la conformación de un grupo disciplinario de investigación, que integre Ingenieros electrónicos, Ingenieros de sistemas expertos en inteligencia artificial y programación evolutiva, fisiólogos, neurólogos y por supuesto ingenieros de sistemas con alta capacidad y experiencia en el desarrollo y construcción de software.

Se recomienda que mediante un trabajo especializado, un grupo designado por la dirección, elabore un artículo basado en el presente documento, para que sea publicado en una de las revistas institucionales o se difunda digitalmente a los interesados mediante la red de decanos y directores de ingeniería de sistemas en el país.

## V. BIBLIOGRAFÍA

### ➤ Textos y publicaciones

- [1] Wayne Tomasi. Comunicaciones electrónicas. Editorial prentis Hall. Nueva York.2008.
- [2] Stallings William. Comunicación de computadores. Editorial. Printer Hall. New York 2007.
- [3] Mejía Aurelio. Electrónica Fácil. Editorial Publicaciones electrónicas. Medellín 2005.
- [4] Tovar Franco Jairo Alfonso. Neuro Bioquímica. Universidad Javeriana Bogotá. 2010
- [5] Rovasio Roberto. Sistemas Sensoriales: Recepción de señales y elaboración de respuesta: Fisiología Humana. Editorial Mcgraus Hill 4ª edición. México 2005
- [6] Kreider Donald. Ecuaciones diferenciales. Fondo educativo interamericano. México 1998.
- [7]Rubio Luis Alberto. Anatomía y fisiología del cuerpo Humana. Editorial. Cultural Librería Americana S. A. Argentina Buenos Aires 2009
- [8] Burbano S., Burbano E., Gracia C. Física General. Editorial Tebar (2004)
- [9] Eugene Hecht. Física Óptica. Editorial Pearson, Addison-Wesley (2003)
- [10] <http://www.profesorenlinea.cl/artes/colorestudiodel.htm>
- [11] Ensinck María Gabriela. La estructura más completa del universo. Separada Día D. El nuevo siglo. Octubre 9 del 2011
- [12] Golombek Diego. Investigaciones en Neurociencia. Universidad nacional de Quilmes. Julio 18 de 2011
- [13] Martin José María. Hardware microinformático. Viaje a las profundidades del PC. Editorial RA-MA Barcelona 2008
- [14] Guyton Arthur and Hall John. Textbook of medical Physiology. Editorial Elsevier Filadefia 2010
- [15] Duran Rodríguez Luis. El gran libro del PC interno. Editorial Marcombo. Barcelona 2010



- [16] García E y Buño W. Ritmos eléctricos del cerebro e integración sensoriomotriz. Editorial Labor S.A Barcelona 2002
- [17] Tomasi Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas. Editorial Printer Hall 2005
- [18] Guyton Arthur and Hall John. Editorial. Elsevier. London 2009. Textbook Of Medical Physiology.
- [19] Mandino August. El milagro más grande del mundo. Editorial Diana México 2004.
- [20] Garzón vestir y Torres Luis Carlos. Algoritmos Genéticos. Editorial Fuac 2010
- [21] Meyer Paul. Probabilidad y aplicaciones estadísticas. Editorial Fondo educativo interamericano. México 1998
- [22] Duran Rodríguez Luis. El gran libro del PC interno. Editorial Marcombo S.A. 2008

➤ **Buzones WEB (Infografía)**

➤ **CYBORG**

- <http://www.stanford.edu/dept/HPS/Haraway/CyborgManifesto.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Ciborg>

➤ **CEREBRO**

- <http://www.monografias.com/trabajos13/acerca/acerca.shtml>
- <http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/cerebro.htm>

➤ **PROCESAMIENTO DE SEÑALES**

- <http://www.monografias.com/trabajos17/procesamiento-digital/procesamiento-digital.shtml>
- <http://lc.fie.umich.mx/~jrincon/curdsp1.pdf>

➤ **PRÓTESIS ELECTRÓNICAS**

- [http://html.rincondelvago.com/biomecanica\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/biomecanica_2.html)
- <http://www.monografias.com/trabajos/cibernetica/cibernetica.shtml>

➤ **SINAPSIS**

- <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/neurobioquimica/sinapsis.htm>
- [http://www.med.ufro.cl/Recursos/neuroanatomia/archivos/3\\_neurohistologia\\_archivos/Page420.htm](http://www.med.ufro.cl/Recursos/neuroanatomia/archivos/3_neurohistologia_archivos/Page420.htm)

➤ RITMOS ELÉCTRICOS

- <http://www.definicionesmedicas.com/definicion-ritmo-electrico-basal/1.html>
- <http://braintraining.org.es/art%C3%ADculos/mapeado-cerebral/>

➤ Teoría de colores

- <http://www.profesorenlinea.cl/artes/colorestudiodel.htm>

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO 1: Ejecución Simultánea del Control del Reloj y Mapeo del Color**

**ANEXO 2: Control De Sonido Y Display: Generación De Señales Y Operación De Control**

**ANEXO 3: Set De Implementación De Control Y Funcionalidad Hardware**

**ANEXO 4: Rutinas Para Ejemplificación De Operación Paralela O Ejecución Por Referencia Y Retorno.**

Atendiendo la normatividad de extensión establecida por la universidad para la presentación de los trabajos, estos se almacenan y registran en el cd que se entrega como anexo.